BRIAN GREENE

Saklı Gerçeklik

Paralel Evrenler ve Kozmosun Derin Yasaları



TÜBİTAK

POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

2. Basım

Saklı Gerçeklik

Paralel Evrenler
ve
Kozmosun Derin Yasaları

Brian Greene



TÜBİTAK
POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 500

Saklı Gerçeklik
Paralel Evrenler ve Kozmosun Derin Yasaları
The Hidden Reality
Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos

Brian Greene

Çeviri: S. Nalan Büyükkantarcıoğlu
Redaksiyon: Müge Karagöz
Türkçe Metnin Bilimsel Danışmanı: Dr. Tahsin Çağrı Şişman

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları'nın seçimi ve değerlendirilmesi
TÜBİTAK Kitaplar Yayın Danışma Kurulu tarafından yapılmaktadır.

ISBN 978 - 975 - 403 - 780 - 7

1. Basım Ağustos 2013 (5000 adet)
2. Basım Ağustos 2013 (5000 adet)

Genel Yayın Yönetmeni: Dr. Zeynep Ünalan
Yayın Yönetmeni: Dr. Oğuzhan Vıcıl
Mali Koordinatör: Mehmet Ali Aydınhan
Telif İşleri Sorumlusu: Burak Kale

Tashih ve Basım Hazırlık: Emine Bademci - Özlem Köroğlu
Kapak Tasarımı ve Sayfa Düzeni: Ayşe Taydaş
Basım İzleme: Yılmaz Özben

TÜBİTAK
Kitaplar Müdürlüğü
Akay Caddesi No: 6 Bakanlıklar Ankara
Tel: (312) 298 96 61 Faks: (312) 428 32 40
e-posta: kitap@tubitak.gov.tr
www.kitap.tubitak.gov.tr
esatis.tubitak.gov.tr

Başak Matbaacılık ve Tan. Hiz. İth. İhr. Tic. Ltd. Şti.
Macun Mahallesi Anadolu Bulvarı 5/15 Gimat Yenimahalle Ankara
Tel: (312) 397 16 17 Faks: (312) 397 03 07

Saklı Gerçeklik

Paralel Evrenler
ve
Kozmosun Derin Yasaları

Brian Greene

Çeviri
S. Nalan Büyükkantarcıoğlu

TÜBİTAK POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

Yazar Hakkında

Brian Greene lisans derecesini Harvard Üniversitesi'nden, doktora derecesini ise Rhodes bursuyla eğitim gördüğü Oxford Üniversitesi'nden aldı. 1990'da Cornell Üniversitesi Fizik Bölümü kadrosuna öğretim üyesi olarak katıldı. 1995'te aynı üniversitede profesörlüğe yükseltildi. 1996'da Columbia Üniversitesinde fizik ve matematik profesörü olarak çalışmaya başladı. Greene yedi kıtada otuzdan fazla ülkede hem genel düzeyde hem de uzmanlık düzeyinde konferanslar verdi. Greene'in süpersicim kuramında çığır açan keşifleri geniş ölçüde kabul görmektedir. İlk kitabı *Evrenin Zarafeti* Amerika'da hem çok satan kitaplar arasındaydı hem de Pulitzer Ödülü için finale kaldı. Son kitabı *Evrenin Dokusu* da çok satanlar arasındaydı.

Yazarın TÜBİTAK Yayınları'ndan çıkan diğer kitapları:

- *Evrenin Zarafeti, 2008*
- *Evrenin Dokusu, 2010*

Alec ve Sophia'ya

İçindekiler

Önsöz

Yirminci yüzyıla girerken belki birtakım kuşkular vardıysa da yirmi birinci yüzyılın başına gelindiğinde bu kuşkular çoktan aşılmıştı: Gerçekliğin asıl doğasını ortaya çıkarmak söz konusu olduğunda ortak deneyim yanıltıcıdır. Doğrusu, bu da şaşırtıcı olmasa gerek. Elbette, ormanlarda yiyecek toplayarak ya da bozkırlarda avlanarak hayatta kalabilme mücadelesi veren atalarımızdan, elektronların kuantum davranışları ya da kara deliklerin kozmolojik anlamları üzerine kafa yormalarını bekleyemezdik. Çağlar içinde beynimizin boyutları büyüdüğü gibi, zihinsel yetilerimiz de gelişti ve çevremizi daha ayrıntılı biçimlerde anlama isteğimiz arttı. İnsan soyu, kimi zaman çeşitli aletler icat ederek, kimi zaman, örneğin matematikte olduğu gibi, sistematik ilişkileri belirleyen ifade biçimleri geliştirerek anlama sınırlarını her defasında daha da genişletti. Tüm bu gelişmeler de insanı gündelik yaşamda görünenlerin ötesindekileri araştırmaya yöneltti.

Gelinen nokta, evrenin niteliği hakkındaki düşüncelerimizde de köklü değişiklikler yapmayı gerektirdi. Fiziğin kavrayışı ve matematiğin özeniyle, deney ve gözlemin rehberliği ve onaylarıyla uzay, zaman, madde ve enerjinin davranışlarında herhangi birimizin doğrudan gözlemleyemediği belli örüntüler bulunduğu belirlendi. Şimdi ise bu konular üzerinde derinleşen çalışmalar ve ilgili buluşlar bizi çok daha çarpıcı bir başka anlayışa götürüyor: Evrenimizin yegâne evren olmayabileceğine. İşte *Saklı Gerçeklik* böyle bir olasılığı inceliyor.

Saklı Gerçeklik kitabını yazarken, okurun fizik ya da matematikte bir uzmanın bilgisine sahip olduğunu farz etmedim. Tıpkı önceki kitaplarımda olduğu gibi, modern fiziğin oldukça karmaşık ve önem taşıyan konularını, tarihsel olaylardan alıntılara, benzetme ya da örneklere yer vererek olabildiğince anlaşılır kılmaya çalıştım. Ele alınan çoğu kavram, okurun alışagelmiş olduğu düşünme biçimlerinin dışına çıkmasını ve gerçeklik hakkında yeni bakış açıları geliştirmesini gerektiriyor. Bilimsel tüm ayrıntıları ile yeni bir anlayışa imza atan, çok daha heyecan verici, ancak anlaşılması hiç de zor olmayan bir yolculuktur bu. Bu yolculukta, en sıradan gündelik fikirlerden bütünüyle yeni fikirlere kadar çeşitlilik gösteren geniş bir fikir yelpazesi bulunuyor.

Bu kitapta, daha önceki kitaplarımdan farklı olarak, genel anlamda ya da özel ayrıntılara girerek, örneğin, görelilik ya da kuantum mekaniğinin ne olduğuna dair sistematik bir bilgi altyapısı oluşturmadım. Bunun yerine, pek çok bölümde kitabın daha iyi anlaşılmasını sağlamak için, eğer çok gerektiğini düşünüyorsam, o konuyla ilgili temel bazı açıklamalar verdim. Belli bir bilgi altyapısı olan okura kitapta hangi kısımları atlayabileceğini de belirttim.

Bununla birlikte, çoğunlukla bölüm sonlarına doğru konu daha ayrıntılı ele alındığı için kimi okurlar bu kısımların zorlayıcı olduğunu düşünebilir. Bu yerlere gelindiğinde, bilgi altyapısı sınırlı olan okur için kısa bir özet verilmekte, devamını okumasını engellemeyecek biçimde isterse bu kısımları atlayabileceği belirtilmektedir. Yine de okurların ilgi ve sabırlarının elverdiği ölçü-

de tüm kısımları okumalarını öneririm. Açıklamaların çokça yer aldığı kısımlar daha geniş bir okur kitlesi için yazılmıştır; okurken sebat etmekte yarar var.

Belirtilen nedenlerden dolayı notlar da farklılık göstermektedir. Konular hakkında fazla bilgisi olmayan okur bu notları tamamen atlayabilir. Belli bir altyapıya sahip olan okur ise bence önem taşıyan bu notları oldukça açıklayıcı ve daha geniş bilgi sağladıkları için yararlı bulacaktır. Farklı okurları dikkate alarak bu notları sıkıcı olmamaları için bölümlerin içine yerleştirmedim. Zira bu notlar daha çok matematik ya da fizik eğitimi almış kişilere hitap etmektedir.

Saklı Gerçeklik'i yazarken ailem, arkadaşlarım ve meslektaşlarım içinde bu kitabın bazı bölümlerini ya da tamamını okuyanlar oldu. Onların eleştirel yorumlarından ve önerilerinden çok yararlandım. David Albert, Tracy Day, Richard Easther, Rita Greene, Simon Judes, Daniel Kabat, David Kagan, Paul Kaiser, Raphael Kasper, Juan Maldacena, Katinka Matson, Maulik Parikh, Marcus Poessel, Michael Popowits ve Ken Vineberg'e özellikle teşekkür etmek isterim. Knopf Yayınevi'ndeki editörüm Marty Asher'la çalışmak her zaman çok keyifli oldu. Andrew Carlson'a kitabın son aşamalarına kadarki profesyonel yol göstericiliği için teşekkür ederim. Jason Severs harika görselleri ile kitabın sunumuna büyük katkıda bulundu. Kendisine hem yeteneği hem de sabrı için teşekkür ederim. Yayın dünyasında temsilciliğimi üstlenen Katinka Matson ve John Brockman'a da teşekkürlerimi ifade etmekten mutluluk duyuyorum.

Bu kitapta ele aldığım konulara yaklaşımımı geliştirirken birçok meslektaşımla yaptığımız konuşmalardan faydalandım. Adlarından söz ettiklerimin yanı sıra, Raphael Bousso, Robert Brandenberger, Frederik Denef, Jacques Distler, Michael Douglas, Lam Hui, Lawrence Krauss, Janna Levin, Andrei Linde, Seth Lloyd, Barry Loewer, Saul Perlmutter, Jürgen Schmidhuber, Steve Shenker, Paul Steinhardt, Andrew Strominger, Leonard Susskind, Max Tegmark, Henry Tye, Cumrun Vafa, Da-

vid Wallace, Erick Weinberg ve Shing-Tung Yau'ya özellikle teşekkür etmek isterim.

Genel okuyucuya hitap eden ilk bilimsel kitabım olan *Evrenin Zarafeti*'ni 1996 yazında yazmaya başlamıştım. O zamandan bu yana geçen on beş yıl içinde teknik araştırmalarımla kitaplarımda ele aldığım konular arasında beklenmedik ve verimli bağlantılar kurmuş olmak beni çok mutlu etti. Columbia Üniversitesi'ndeki öğrencilerime ve meslektaşlarıma yarattıkları coşkulu araştırma ortamı için; Enerji Bakanlığı'na bilimsel araştırmalarıma mali destek sağladıkları için; Pentti Kouri'ye ise Columbia'daki araştırma merkezimiz, Sicimler, Kozmoloji ve Astroparçacık Fiziği Enstitüsü'ne sağladığı cömert destek için teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak Tracy, Alec ve Sophia'ya içinde bulunduğum evreni olası tüm evrenlerin en güzeli haline getirdikleri için teşekkür ederim.

Saklı Gerçeklik

I. Bölüm

Gerçekliğin Sınırları

Paralel Dünyalar Üzerine

Çocukken odam sadece bir tek aynayla süslenmiş olsaydı, çocukluk hayallerim herhalde çok farklı olurdu. Oysa odamda iki ayna vardı. Her sabah elbiselerimi almak için gardırobumu açtığımda, duvardaki ayna ile gardırobun kapağına aynı hizada yerleştirilmiş olan ayna karşı karşıya gelip aralarında bulunan her nesnenin sonsuzmuş gibi görünen yansımalarını oluştururlardı. Görüntüler muhteşemdi! Göz alabildiğine bir derinlik içinde uzayıp giden ve bu iki cam yüzey arasında çoğalan birbiri ardına görüntüler beni hep çok keyiflendirirdi. Tüm yansımalar uyum içinde aynı anda hareket ediyor gibiydi. Ancak, biliyordum ki, bu uyum insan algısının sınırından kaynaklanıyordu. Daha küçük yaştayken ışığın belli bir hızı olduğunu öğrenmiştim. Bu nedenle, zihnimde ışığın gidiş dönüş yolculuklarını canlandırıp dururdum. Kafamı aşağı yukarı kaldırıp indirirken ya da kolumu yavaşça sallarken görüntülerim ay-

nalar arasında dans eder, her bir hareketim bir sonrakine bağlanırdı. Bazen bu görüntüler akışı içinde kabıma sığamaz, kendimi her farklı hareketle yeni görüntüleri tetikleyerek yeni gerçeklikler yaratan biri olarak görürdüm. Okuldaki ders aralarında, bazen o sabah aynalar arasında sonsuz biçimde gidip gelen görüntülerde yansıttığım ışığı düşünür, ışığın etkisiyle oluşan ve hayallerimle bezenmiş paralel düşsel bir dünyaya girerek yansıyan görüntülerimden biriyle bütünleşirdim.

Kuşkusuz, aynada yansıyan görüntüler bilinçli varlıklar değildir. Ancak, çocukluk hayallerim içinde canlandırdığım ve kendi bilinçli varlığımın özelliklerine benzer özellikler yakıştırdığım bu yansımalar, aslında modern bilimin giderek önem kazanan bir konusuna da oldukça yakın duruyorlar –bildiğimiz dünyanın ötesinde başka dünyaların da var olabileceği olasılığına. Bu kitap, bu türden olasılıkların araştırıldığı bir çalışmadır, paralel evrenler bilimine yapılan bir yolculuktur.

Evren ve Evrenler

Bir zamanlar "evren" var olan her şey anlamına gelirdi. Her şey. İçinde akla gelebilecek her şeyin bulunduğu bir bütünlük. Tek bir evrenden daha fazlasının, o "her şey"den ötesinin olabileceği düşüncesi kendi içinde başlı başına bir çelişkiydi. Ne var ki bir dizi kuramsal gelişme "evren"e ilişkin anlayışları giderek değiştirdi. Sözcüğün anlamı artık kullanıldığı bağlama göre yorumlanıyor. Bazı durumlarda "evren" sözcüğü hâlâ akla gelen her şey anlamında kullanılıyor. Bazen, o "her şey"in herhangi bir kişi için, örneğin, sizin ya da benim için erişilebilir olan kısmını ifade ediyor. Bazen de bizim için kısmen, tamamen, bir süre için ya da daimi olarak erişilmesi imkânsız olan birbirlerinden ayrı bölgeleri anlatmak için kullanılıyor. Sözcüğün bu anlamda kullanımı, bizim evrenimizi geniş, belki de sonsuz genişlikteki bir yapılanmanın parçası olarak tanımlıyor.

Artık geçerliği azalan o eski tanımı içindeki "evren" sözcüğü giderek yerini, çok daha geniş bir tuvale gerçekliğin tüm renklerini katabilmemizi sağlayan, başka terimlere bıraktı. *Paralel*

dünyalar, paralel evrenler, çoklu evrenler, alternatif evrenler, evrenötesi, mega evren– eşanlamlı tüm bu terimler yalnızca bizim evrenimizi değil, bizim evrenimiz dışındaki olası farklı evrenleri de kapsayacak bir anlamda kullanılan sözcüklerdir.

Bu terimler size biraz anlaşılmaz gelebilir. Bir dünyayı ya da bir evreni oluşturan şeyler tam olarak nelerdir? Geniş ve tek bir evrenin her biri ayrı bölgeleri ile kendi başına evren olarak sınıflandırılan yapıları birbirlerinden ayıran ölçütler nelerdir? Belki bir gün çoklu evren anlayışımız bu türden sorulara kesin yanıtlar bulabileceğimiz bir düzeye erişecektir. Şimdilik bu tür soyut kavramları tanımlamaya çalışmak yerine, Yargıç Potter Stewart'ın pornografiyi tanımlarken benimsediği yaklaşımı benimseyelim. Amerika Birleşik Devletleri Yüksek Mahkemesi neyin pornografi sayılması gerektiği konusunda ölçütler belirlemeye çalışırken Stewart şöyle demişti: "Pornografiyi görünce tanırım".

Sonuçta, bir bölgeyi "paralel evren" diye adlandırmak, sadece dilsel bir seçimdir. Konunun özünde asıl önemli olan, çok uzun bir süre "evren" olduğunu düşündüğümüz yapının, gerçekte çok daha geniş, çok daha farklı ve "saklı bir gerçekliğin" parçası olup olmadığı ve geleneksel evren anlayışını geçersiz kılacak farklı bölgelerinin bulunup bulunmadığıdır.

Paralel Evrenlerin Çeşitliliği

Çarpıcı olan gerçek şudur (benim de bu kitabı yazmamın nedenlerinden biridir): Temel kuramsal fizikteki çoğu önemli gelişme –görelilik fiziği, kuantum fiziği, kozmoloji fiziği, birleşik alan fiziği, hesaplamalı fizik– bizleri paralel evren çeşitleri üzerine düşünmeye itmiştir. Gerçekten de kitabın takip eden bölümlerinde çoklu evren teması kapsamında dokuz farklı açıklayıcı yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımların hepsi de bizim evrenimizi aklın alamayacağı kadar geniş bir bütünün parçası olarak görmektedir, ancak bu geniş bütünün dokusu ve içinde yer alan diğer evrenlerin nitelikleri konusunda aralarında önemli görüş ayrılıkları bulunmaktadır. Kimi yaklaşımlara göre, bu paralel

evrenlerle bizim evrenimiz muazzam zaman ve mekân alanlarıyla ayrılmışlardır. Kimilerine göre, bu evrenler birbirleriyle iç içe, hatta birbirlerine milimetrelerle ölçülebilecek bir uzaklıkta bulunmaktadır. Kimi görüşe göre ise mekân olarak adlandırdığımız şey aslında sınırlı bir algı olup gerçekte fazla bir anlam taşımamaktadır. Benzer biçimde, farklı bakış açıları paralel evrenler üzerine ortaya atılan yasalarda da izlenebilir. Bu evrenlere ilişkin yasaların bazıları bizim evrenimizin yasalarıyla aynı biçimde tanımlanmıştır. Bazı yasalar ise, bizim evrenimizin yasalarıyla aynı kökeni paylaşmakla birlikte, farklılıklar gösterir. Diğer başka yasalar ise, daha önceden hiç aşina olmadığımız biçim ve yapısal özelliklere sahiptirler. Gerçekliğin ne ölçüde geniş olabileceğini düşünmek bile insanın kibrini kırmaya ve coşku vermeye yetecektir.

Paralel dünyalar üzerine ilk bilimsel girişimler 1950'lerde atomun ve atomaltı parçacıkların mikroskobik yapılarını açıklayan bir kurama, yani kuantum mekaniğine kafa yoran araştırmacılar tarafından başlatılmıştır. Kuantum mekaniği, bilimsel öngörülerin tamamen olasılıklar üzerine yapılanması gerektiğini belirterek klasik mekaniğin kalıplarını yıkmıştır. Bilimsel bir süreçte bir sonucun gerçekleşme olasılığını tahmin edebiliriz, bir başka sonuca ilişkin tahminler de yürütebiliriz. Ancak baştan nasıl bir sonuca varılacağını tam olarak bilemeyiz. Yüzlerce yıllık bilimsel düşünceden ayrılan ve iyi bilinen bu farklılık yeterince şaşırtıcıdır. Ancak kuantum kuramının fazla dikkat çekmeyen daha da şaşırtıcı bir başka yanı var. Kuantum mekaniği üzerinde onlarca yıl çalıştıktan ve olasılık hesaplamalarını doğrulayan pek çok veri toplandıktan sonra bile, belli bir duruma yönelik bütün olasılıklar içinden neden yalnızca bir tanesinin geçerli olması gerektiğini hiç kimse açıklayamıyor. Deneyler yaptığımızda ya da dünyayı incelediğimizde hepimiz tek ve kesin bir gerçeklikle karşı karşıya olduğumuzu düşünüyoruz. Ancak, kuantum devriminin başlangıcından günümüze kadar geçen bir asırdan fazla zaman içinde, fizikçiler arasında deneyimlediğimiz gerçeklikle kuantum kuramının matematiksel temellerinin nasıl bağdaş-

ması gerektiği konusunda herhangi bir görüş birliği sağlanabilmiş değil.

Görüş birliği sağlanamaması nedeniyle, yıllar içinde çok çeşitli yaratıcı açıklamalar ortaya atılmıştır. Ancak bu açıklamalardan en alışılmadık olanı ilk ortaya atılan açıklamalardan birisidir. Belki de bir deneyin sadece ve sadece tek bir sonucu olur düşüncesi artık geçerli değildir. Kuantum mekaniğinin matematiği –ya da en azından bu matematiğe bakış açılarından birisi– bir deneyde *bütün* olasılıkların mümkün olabildiğini, her bir olasılığın kendine ait ayrı bir evren içinde geçerli olabileceğini öne sürmektedir. Eğer bir kuantum hesaplaması, bir parçacığın burada ya da orada olabileceğini söylüyorsa, o zaman bu parçacık bir evrende *burada*, diğer evrende ise *orada* olabilir. Böylece, her bir evren içinde sizin bir kopyanız *bu* ya da *öteki* sonucu izliyor olabilir ve –yanlış da olsa– sadece tek bir gerçekliğin içinde olduğunu düşünebilir. Kuantum mekaniğinin güneşte füzyon reaksiyonuna giren atomlardan düşüncenin oluşmasını sağlayan nöron bağlantılarına kadar tüm fiziksel süreçleri açıklayabileceğini fark ettiğinizde, bu açıklamanın olası sonuçlarının ne kadar geniş kapsamlı olduğu daha iyi anlaşılabilir. Bu açıklama, hiç gidilmemiş yol yoktur, der. Ne var ki, her bir yol –her bir gerçeklik– diğer hepsinden saklıdır.

Kuantum mekaniği kapsamında bu *Çoklu Dünyalar* yaklaşımı aradan geçen yıllar içinde oldukça ilgi toplamıştır. Ancak yapılan araştırmalar konunun güç algılanan ve çetrefilli bir çerçevesi olduğunu (VIII. Bölüm'de ele alacağımız gibi) ortaya koymaktadır. Bugün bile, aradan sorgulamaya adanmış yarım asırdan fazla zaman geçmiş olmasına karşın, ortaya atılan öneri tartışmalara yol açmaktadır. Kuantum üzerinde çalışanlardan bir kısmına göre yaklaşımın doğruluğu çoktan ispatlanmıştır. Diğer bir kısmı ise, gayet emin bir şekilde, yaklaşımın matematiksel temellerinin zayıf olduğunu iddia eder.

Bu bilimsel belirsizlik sürmesine karşın, paralel evrenler konusundaki ilk görüşler bugün de edebiyatta, televizyonda, filmlerde farklı ülkeler, farklı geçmişler biçiminde işlenmeye devam

etmektedir (Çocukluğumdan beri en çok sevdiklerim *Oz Büyücüsü, Şahane Hayat, Uzay Yolu*'nun "Sonsuzluğun Kenarındaki Şehir" adlı bölümü, Jorge Luis Borges'in "Yolları Çatallanan Bahçe" adlı öyküsü ile son zamanlarda izlediğim *Rastlantının Böylesi* ve *Koş Lola Koş* adlı filmlerdir). Tüm bunlar ve popüler kültürün benzer başka yapıtları paralel evrenler konusunu gündeme oturtmuş, halkın bu gibi konulara fazlasıyla ilgi duymasına yol açmıştır. Ancak kuantum mekaniği, modern fiziği paralel evrenler konusuna yönlendiren etmenlerden sadece bir tanesidir. Doğrusunu söylemek gerekirse, tartışacağım konuların ilki de olmayacaktır.

II. Bölüm'de paralel evrenler konusuna farklı bir açıdan giriş yapacağım, belki de en basit açıdan. Eğer yapılan gözlemlere ve pek çok fizikçi ya da gökbilimcinin kabul ettiği kozmoloji modeline göre uzayın sonsuz biçimde uzandığını kabul edecek olursak, o zaman, oralarda bir yerlerde (muhtemelen çok uzaklarda) sizin, benim ya da herhangi başka şeylerin kopyalarının bulunduğu ve burada yaşadığımız gerçekliğin alternatif biçimlerinin yaşandığı bölgeler olması gerektiğini göreceğiz. III. Bölüm'de kozmolojiye daha derinlemesine gireceğiz: Evrenin, başlangıcının ilk anlarında devasa bir patlama şeklinde çok hızlı uzaysal genişleme gösterdiğini öne süren şişme (enflasyon) kuramı, kendine has paralel evrenler anlayışını da beraberinde getirmektedir. Eğer şişme kuramı doğruysa, en hassas astronomik gözlemlerin de öne sürdüğü gibi, kendi uzayımızı yaratan patlama yegâne patlama olmayabilir. Aksine, şu anda bile, uzak bölgelerde gerçekleşen şişmeye dayalı genişlemeler evren üstüne evren yaratmakta olabilir. Hem de sonsuza kadar. Dahası, baloncuklar gibi ortaya çıkan bu evrenlerin her biri kendi sonsuz uzaysal uzanımına sahiptir, dolayısıyla II. Bölüm'de bahsedilen paralel evrenlerden sonsuz sayıda içerir.

IV. Bölüm'de sıra sicim kuramına geliyor. Bu bölümde, temel kavramlara kısaca değindikten sonra, tüm doğa yasalarını birleştiren bu yaklaşıma ilişkin bir durum değerlendirmesi sunacağım. Bu değerlendirmenin ışığında, V. ve VI. Bölüm'de, sicim kuramı

kapsamında üç yeni paralel evren modeli öneren son gelişmeleri ele alacağım. Bunlardan biri, sicim kuramının *zar evren* senaryosu denilen ve evrenimizin tıpkı bir ekmeğin dilimlerinden biri gibi, daha yüksek boyutlu bir uzayın içinde yer alan evren dilimlerinden bir tanesi olduğunu varsayan modeldir.[1] Eğer şansımız varsa, çok uzak bir geleceği beklemeden, İsviçre'nin Cenevre kentinde yer alan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda böyle bir senaryonun mümkün olup olmadığına dair gözlemsel bir işaret görebileceğiz. İkinci model ise, birbirine çarpan zar evrenlerin sahip oldukları her şeyi yok ederek her seferinde her bir yüzeyde büyük patlama benzeri yeni başlangıçlar yaratması modelidir. İki dev elin alkış tutması gibi, bu durum tekrar tekrar gerçekleşebilir; zarlar çarpışıp ayrılıp birbirlerini kütleçekimi kanuna göre tekrar çekerek ve tekrar çarpışarak bir döngüsellik içinde, uzayda olmasa bile, zamanda paralel olan yeni evrenler yaratıyor olabilirler. Üçüncü model ise sicim kuramının "manzara" senaryosudur ve kuramın gerektirdiği ekstra boyutların şekilleri ile büyüklüklerine dair olasılıkların akıl almaz sayıda olmasını temel alır. Şişme kuramına ait çoklu evren yaklaşımı ile birlikte düşünüldüğünde, bu manzara çoklu evren senaryosu, içinde her türlü biçimde ekstra boyutun var olabildiği, çok büyük miktardaki evrenlerin bir toplamını ifade eder.

VI. Bölüm'de tüm bunların geçen yüzyılın en şaşırtıcı gözlemsel sonuçlarından birine nasıl ışık tuttuğu üzerinde duracağız: uzay, tamamına yayılmış ve her noktada aynı değere sahip bir enerji ile dolu gözükmektedir ve bu enerji Einstein'ın meşhur kozmolojik sabiti şeklinde ifade edilebilir. Bu gözlem, paralel evrenler üzerine son zamanlarda yürütülen araştırmaların çoğuna ilham kaynağı olmuş, kabul edilebilir bilimsel açıklamaların doğasına dair son on beş-yirmi yılın en hararetli tartışmalarına yol açmıştır. VII. Bölüm'de bu konunun, diğer bir deyişle, kendi evrenimizin dışında başka evrenler olup olmadığı sorusunun bilimsel bir çerçevede ele alınıp alınamayacağı tartışılmaktadır. Bu fikirlerin geçerliğini sınayabilir miyiz? Bu fikirlere önemli problemleri çözmek için başvurursak, ilerleme kaydetmiş olduğumu-

zu düşünebilir miyiz, yoksa bu problemleri sadece kozmik bir halının altına süpürmüş mü oluruz? Paralel evrenler düşüncesinin belirli bazı durumlarda tamamen bilimsel bir düşünce olduğuna ilişkin kendi görüşümü vurgularken, birbirleriyle çelişen bakış açılarının ardındaki temelleri de ortaya koymaya çalışacağım.

VIII. Bölüm'ün konusunu paralel evrenlerin Çoklu Dünyalar biçimiyle kuantum mekaniği oluşturmaktadır. Bu bölümde, kuantum mekaniğinin temellerini kısaca hatırlatıp konunun en çetin sorunu üzerine eğileceğim: Temel paradigması birbirleriyle çelişen gerçekliklerin muğlak, fakat matematiksel olarak kesin, olasılıksal bir belirsizlikte yan yana bulunabilmesini mümkün kılan bir kuramdan kesin sonuçlar nasıl çıkartılabilir? Bu sorunun yanıtını ararken, sizleri paralel dünyalar düşüncesine çekecek olan kuantum gerçekliğine doğru götüreceğim.

IX. Bölüm'de, ileri sürülmüş bütün paralel evren yaklaşımlarından en ilginci olduğunu düşündüğüm versiyonla kuantum gerçeğinde biraz daha yol alacağız. Bu yaklaşım, kara deliklerin kuantum özellikleri üzerine otuz yılı aşan çalışmalardan sonra aşama aşama ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar sicim kuramında elde edilen hayret verici bir sonuçla son on yılda zirve noktasına ulaşmıştır. Bu sonuca göre, dikkate değer bir şekilde, yaşadığımız tüm deneyimlerimiz bizi çevreleyen uzaktaki bir yüzeyde gerçekleşen süreçlerin holografik bir projeksiyonudur. Kendinizi çimdiklediğiniz zaman, bunu gerçek olarak hissedebilirsiniz, ama bu durum uzaktaki farklı bir gerçekliğin içinde yer alan paralel bir sürecin yansımasıdır.

Son olarak, X. Bölüm'de, oldukça fantastik gelen yapay evrenler olasılığı üzerinde durulmaktadır. Konu, fizik yasalarının bize yeni evrenleri yaratabilme kapasitesi sağlayıp sağlamadığı ile ilgilidir. Sonra da yaratılan evrenlerin son derece ileri bir bilgisayar programı ile oluşturulmuş benzetimler (simülasyonlar) olup olmadığı ele alınıp bizim aslında şu an bir başkası tarafından yaratılan bir benzetim programı içinde yer alıp almadığımız sorgulanacaktır. Bu da bizi düşünürlerin en iddialı paralel evren modeline, diğer bir deyişle, olası her bir evrenin aslında tüm

çoklu evrenlerin en genişi içinde bir yerde gerçekleştiği düşüncesine götürecektir. Tüm bunlar ele alınırken, bilimin sırlarını çözebilmede matematiğin nasıl bir rol oynadığı ve gerçekliği daha iyi anlayabilme konusundaki becerimiz ya da beceriksizliğimiz tartışılacaktır.

Kozmik Düzen

Paralel evrenler konusu kuşkuya epeyce açık bir konudur. Henüz hiçbir deney ya da gözlem ortaya atılmış fikirlerin geçerli olduğunu doğrulamamıştır. Bu kitabı yazma nedenim de sizleri çoklu evrenin bir parçası olduğumuza ikna etmek değildir. Somut verilerle desteklenmemiş hiçbir şey konusunda ikna olamam –kimsenin de ikna olmasını beklemem. Ne var ki fizikte yakından takip ettiğim pek çok gelişmenin paralel evrenler konusunda bir şeylere işaret ettiğini görüyorum. Bu da beni hem meraklandırıyor hem de etkiliyor. Fizikçilerin elinde sanki her türlü çoklu evrenin kanıtı varmış ve ortaya atılan her kuramı paralel evren paradigmasına bağlamaya hazırlarmış gibi bir şey elbette söz konusu değil. Ciddiye aldığımız tüm paralel evren modelleri, eskiden beri elde edilen verileri ve yapılan gözlemleri açıklamak için geliştirilmiş kuramların matematiğiyle ortaya atılmış modeller.

Amacım, fizikçileri evrenimizin başka pek çok evrenden yalnızca bir tanesi olduğuna ilişkin görüşlere iten entelektüel aşamaları ve kuramsal bakış açılarını açık ve net biçimde açıklamaktır. Modern bilimsel araştırmaların bu çarpıcı olasılığı nasıl açıkladıklarını anlamanızı istiyorum. Sizlere başka açılardan bakıldığında kafa karışıklığına yol açacak bazı gözlemlerin, paralel evren çerçevelerinin birisinden bakıldığında nasıl mükemmel bir şekilde açıklanabileceğini göstermek istiyorum. Aynı zamanda, bu açıklayıcı yaklaşımın tam olarak anlaşılmasına engel olan, henüz çözülememiş kritik sorunları da anlatacağım. Amacım, kitabı bitirdiğinizde bakış açılarınızın çok daha zenginleşmiş olması ve sürmekte olan bilimsel araştırmalar sonucunda bir gün gerçekliğin sınırlarının yeniden çizilebileceğini düşünmenizdir.

Kimileri de paralel dünyalar fikrinden uzak durmaya çalışıyor; ola ki çoklu bir evrenin parçasıysak, evrendeki yerimizin azalacağını ve önemsizleşeceğimizi düşünüyorlar. Benim duruşum ise tamamen farklı. Önemimizi, sayımızın nispi çokluğuna bağlı olarak ölçmeyi yararlı bulmuyorum. Aksine, insan olmanın sevindirici yanı ve bilimsel araştırma sürecinin bir parçası olmanın heyecanlı yanı, sonsuz uzaklıklarla aramızda köprü kurmayı, uzayın yakın ya da uzak noktalarına ve hatta eğer kitapta ele aldıklarımızın doğru olduğu bir gün anlaşılırsa, başka evrenlere doğru yolculuğa çıkabilmemizi sağlayacak olan analitik düşünceyi kullanma yetisidir. Bana göre, içine gömüldüğümüz simsiyah, soğuk ve bilinmeyen evrendeki ıssız noktamızdan bakarak edindiğimiz anlayışın derinliğidir gerçekliğin enginliğinde yankılanıp bizi önemli kılan.

II. Bölüm

Sonsuz Eş-Varoluşlar

Kapitone Çoklu Evren

Evrenin derinliklerine dalıp, gidebildiğiniz kadar yol alsaydınız, acaba uzayın sınırsızca uzayıp gittiğini mi, yoksa birdenbire sonlandığını mı görürdünüz? Yoksa Sir Francis Drake dünyanın çevresini dolaştığında olduğu gibi, başladığınız noktaya geri mi dönerdiniz? İki olasılık da –sonsuz olarak uzanan ya da çok geniş de olsa bir sonu bulunan uzay– yaptığımız tüm gözlemler ile uyumludur ve araştırmacılar her bir olasılık üzerinde son yirmi otuz yılda ayrıntılı şekilde çalışmışlardır. Tüm bu ayrıntılı incelemelere göre, eğer evrenin sonsuz olduğu doğruysa, o zaman bu durumdan çıkarılabilecek nefes kesici bir sonucun bugüne kadar görece az dikkate alındığını belirtmeliyim.

Evrenin sonsuzluğu içinde bir yerlerde, tıpkı Samanyolu'na benzeyen, bizimki gibi bir güneş sistemine sahip, dünyamızın tıpatıp benzeri bir gezegeni olan bir gökada bulunuyor olabilir.

Orada, sizin bire bir benzeriniz sizinkinin aynısı bir evde oturuyor, şu an sizin okuduğunuz satırları okuyor ve sizin gibi cümlenin sonuna yaklaşıyor olabilir. Dahası, böylesi bir kopya tek de olmayabilir. Sonsuz bir evrende, sonsuz sayıda kopyalar da olabilir. Bazı kopyalarınız, şu an olduğu gibi, sizinle aynı satırları okurken, bazı kopyalarınız bir şeyler atıştırmak için kitabı kenara koyup okumaya ara vermiş olabilir. Kim bilir, başka kopyalarınız belki de karanlık bir sokakta karşılaşmayı asla istemeyeceğiniz tipler de olabilirler.

Korkmayın; bunlarla karşılaşmayacaksınız. Bu kopyalar o kadar uzak bölgelerde yer alıyor olacaklar ki Büyük Patlama'dan beri yol alan bir ışık bizi onlardan ayıran uzaysal mesafeyi katedebilecek zamanı bulamayacaktır. Her ne kadar bu bölgeleri gözlemlemek mümkün olmasa da evrenin büyük sonsuzluğu içinde sonsuz sayıda paralel evrenlerin bulunabileceğini temel fizik ilkelerine dayanarak ileri sürebiliriz –kimi bizimkinin tıpatıp aynı, kimi farklı, kimiyse bizimkine hiç mi hiç benzemeyen paralel evrenler.

Paralel evrenlere doğru bir yolculuğa çıkmadan önce, konusu evrenin bir bütün olarak başlangıcını ve gelişimini bilimsel olarak incelemek olan kozmolojinin temel çerçevesini oluşturmamız gerekecektir.

Haydi bakalım.

Büyük Patlamanın Babası

"Matematiğin iyi ama fiziğin berbat." 1927 Solvay Fizik Konferansı hararetli bir şekilde devam etmekteydi ve bu sözler Einstein'ın yaklaşık on yıl önce yayınlamış olduğu genel görelilik kuramına ait denklemlerin, yaratılış öyküsünü baştan yazmayı gerektireceğini kendisine ifade eden Belçikalı Georges Lemaître'e Einstein'ın tepkisiydi. Lemaître'in hesaplarına göre, evren başlangıçta muazzam yoğunlukta küçücük bir nokta, kendi deyimiyle bir "ilk atom"du. Sonra, bu nokta çok geniş bir zaman içinde genişledi ve gözlemlediğimiz evrene dönüştü.

İçlerinde, kuantum kuramı üzerine ciddi tartışmalara katılmak için Brüksel'e gelip Metropol Oteli'ne inen Einstein'ın da bulunduğu birçok tanınmış fizikçi arasında Lemaître'in varlığı âdeta sırıtmıştı. Kendisi, 1923'e kadar yalnızca doktora çalışmasını tamamlamakla kalmamış, Saint-Rombaut papaz okulunu da bitirerek Cizvit papazı unvanı almıştı. Konferansta verilen aralardan birinde Lemaître, boynunda papaz yakası, yazdığı denklemlerin evrenin başlangıcı konusunda bilimsel yeni bir kurama dayanak oluşturacağını düşündüğü adama yaklaştı. Einstein, birkaç ay önce yazdığı makalesini okumuş olduğu için Lemaître'in kuramını biliyordu ve Lemaître'in genel görelilik denklemlerini kullanış biçiminde hiçbir hata bulamamıştı. Aslına bakılırsa, Lemaître'den önce de Einstein'a, bu sonuçlara ulaşılabileceğini söyleyen kişiler çıkmıştı. 1921'de Rus matematikçi ve meteorolog Alexander Friedmann, Einstein'ın denklemlerine bulduğu çeşitli çözümlere dayanarak uzayın gerildiğini, dolayısıyla, evrenin genişlediğini belirtmişti. Einstein bu çözümlere kuşkuyla bakıp Friedmann'ın hesaplamalarında hatalar olduğunu söylemişti. Oysa Einstein haksızdı; zaten daha sonra da söylediklerini geri aldı. Ancak, matematiğe de alet olmak istemedi. Einstein, bu çözümleri evrenin nasıl *olması* gerektiğine dair sezgisi yüzünden bir kenara attı. Bu sezgi, evrenin ezelî ve ebedî olması ile büyük mesafe ölçeklerinde sabit ve değişmez bir yapı olduğuna dair kökleşmiş inancından kaynaklanıyordu. Evrenin şu an genişlemekte olmadığını, hatta hiçbir zaman da genişlemediğini belirterek Lemaître'i uyardı.

O tarihten altı yıl sonra, Kaliforniya'daki Mount Wilson Gözlemevi'nin bir toplantı salonunda Einstein, Lemaître'in başka ayrıntılar da ekleyerek açıkladığı kuramına bu kez farklı bir dikkatle odaklandı. Lemaître, evrenin bir parlamayla başladığını ve gökadaların genişleyen bir uzay denizinde yüzen yanan korlar olduklarını söylüyordu. Toplantı bittiğinde, Einstein ayağa kalkıp Lemaître'in kuramının "o zamana kadar evrenin başlangıcı hakkında duyduğu en güzel ve tatmin edici açıklama" olduğunu belirtti.[1] Dünyanın en ünlü fizikçisi, dünyanın en gizem-

li konularından biriyle ilgili fikrini değiştirmeye ikna olmuştu. Hâlâ çoğu kimse bilmese de Lemaître bilim çevrelerinde büyük patlamanın babası olarak tanınır.

Genel Görelilik

Friedmann ve Lemaître'in geliştirdiği evren kuramları, Einstein'ın 25 Kasım 1915'te Alman bilim dergisi *Annalen der Physik*'e gönderdiği bir makaleye dayanmaktaydı. On yıllık bir matematiksel maceranın doruk noktası olan bu makale, sunduğu sonuçlar –genel görelilik kuramı– itibarıyla Einstein'ın en bütünlüklü ve en kapsamlı bilimsel başarısı olacaktı. Genel görelilik kuramında Einstein, kütleçekimini kavrayışımızı tümüyle yeniden biçimlendiren zarif bir geometrik dile başvurdu. Kuramın temel özellikleri ve evrenle ilgili olası sonuçları hakkında iyi bir altyapınız varsa aşağıdaki üç alt bölümü atlayabilirsiniz. Bu konuda bazı temel bilgiler edinmek istiyorsanız devam edin.

Einstein genel görelilik üzerine çalışmaya 1907'de başladı. O dönemde pek çok bilim insanı, kütleçekiminin Isaac Newton tarafından çoktan açıklığa kavuşturulduğunu düşünmekteydi. Dünyanın her tarafında lise öğrencilerine öğretildiği gibi, 1600'lerin sonuna doğru Newton doğanın bu en bilinen kuvvetinin ilk matematiksel ifadesini veren Evrensel Kütleçekimi Yasasını ortaya atmıştı. Newton'un yasası öyle kesin hesaplar yapmamıza imkân verir ki bugün bile NASA'daki mühendisler uzay araçlarının yörüngesini hesaplamak, gökbilimciler de kuyrukluyıldızların, yıldızların hatta tüm gökadaların hareketlerini öngörmek için bu yasayı kullanırlar.[2]

Yirminci yüzyılın başlarında Einstein, Newton'un Kütleçekimi Yasası'nın temellerinde boşluk bulunduğunun farkına vardı. Yasanın ne kadar kesin sonuçlar verdiği göz önüne alınırsa, Einstein'ın yasayı sorgulaması daha da çarpıcı hale gelir. Son derece basit bir soru sorularak bu boşluk görülebilirdi. Einstein şunu sordu: Kütleçekimi nasıl işliyor? Örneğin, güneş nasıl oluyor da 93 milyon mil uzaklıktan uzay boşluğunu aşarak yeryüzünün hareketini etkileyebiliyor? Güneşle dünyayı birbirine

bağlayan bir ip ya da dünya hareket ederken onu çekip kontrol eden bir zincir olmadığı halde, nasıl oluyor da kütleçekimi etkisi oluşabiliyor?

1687'de basılan *Principia* adlı kitabında Newton bu sorunun önemini fark etmiş olmakla birlikte, ortaya attığı yasanın böyle bir soruya açıklık getirmediğini anlamıştı. Newton'a göre, kütleçekiminin oluşabilmesi için bir noktayla başka bir nokta arasında etkileşmeyi sağlayan bir şey olmalıydı. Ne var ki Newton bunun ne olduğunu tanımlayamamıştı. *Principia*'da bu soruyu "okuyucunun mütalaasına" bırakmıştı ve aradan geçen iki yüz yıldan fazla zaman içinde bu çağrıyı okuyanlar okuyup geçtiler. Fakat okuyup geçmek Einstein'ın yapamayacağı bir şeydi.

Neredeyse on yıl boyunca, Einstein kütleçekiminin altında yatan işleyişi anlamak için uğraştı. En sonunda 1915'te bir yanıt ileri sürebildi. Son derece karmaşık bir matematiği temel almasına ve fizik biliminin tarihi boyunca görülmemiş kavramsal sıçrayışlar içermesine rağmen, Einstein'ın önermesi tıpkı sorduğu soru kadar basit ve anlaşılırdı. Hangi süreçle kütleçekimi boş bir uzayın ötesinden etkisini gösterebiliyordu? Bomboş denilen bir uzayın boşluğu, besbelli, bu konularda herkesin elini de bomboş bırakmıştı. Ancak, bu boş uzayda var olan bir şey vardı: O da uzayın kendisiydi. Einstein uzayın kendisinin kütleçekiminin iletilmesini sağlayan ortam olduğunu söyledi.

Fikir şundan ibaret: Geniş, metal bir masada yuvarlanan bir bilye düşünün. Masanın yüzeyi düz olduğundan, bilye bir doğru boyunca yuvarlanacaktır. Ancak masayı birdenbire alevler sarar ve masanın bükülmesine, kabarmasına yol açarsa, yuvarlanan bilye farklı bir yol izleyecektir; masanın o eğri büğrü ve engebeli hale gelen yüzeyi tarafından yönlendirilecektir. Einstein, aynı durumun uzayın dokusu adına da geçerli olacağını savunuyordu. Bomboş bir uzay tıpkı yüzeyi dümdüz olan bir masa gibiydi. Nesneler bir doğru boyunca engellenmeden yol alabilirdi. Ama kütleli nesnelerin varlığı sonucunda uzayın biçimi, tıpkı alevlerin masanın yüzeyini etkilemesi gibi etkilenebilirdi. Böylece, örneğin güneş, tıpkı masanın yüzeyinde sıcaklıktan dolayı metal

bir baloncuğun ortaya çıkması gibi, yakın çevresinde bir tümsek meydana getirebilirdi. Yine, tıpkı masanın o eğri yüzeyinin bilyenin eğri bir yol boyunca ilerlemesine neden olması gibi, güneşin civarındaki uzayın eğri biçimi de dünyayı ve diğer gezegenleri belli bir yörüngede tutuyor olabilirdi.

Bu basit açıklama aslında önemli ayrıntıları atlıyor. Eğrilen yalnızca uzay değil, zamandır da (buna uzay-zaman eğriliği denir); masanın bilyeye etkisini bilyeyi masa yüzeyine bastırarak mümkün kılan dünyanın kütleçekimidir (Einstein uzaydaki ve zamandaki eğriliklerin ayrıca başka bir desteğe ihtiyaç duymadıklarını, çünkü kütleçekiminin *bizzat* kendileri olduğunu ifade ediyordu). Uzay üç boyutludur. Bükülme söz konusu olunca, masa örneğinde olduğu gibi yalnızca alt yüzey değil, bir nesnenin tüm çevresi de bükülür. Yine de masa örneği Einstein'ın önermesinin özüne ışık tutmaktadır. Einstein'dan önce, kütleçekimi bir nesnenin bir başka nesne üzerinde aradaki uzayı aşarak bir şekilde oluşturduğu gizemli bir güçtü. Einstein'dan sonra ise kütleçekimi, bir nesnenin ortamda oluşturduğu bükülmenin başka nesnelerin hareketlerini yönlendirmesi anlamına geliyordu. Şimdi, Einstein'ın ortaya attığı bu düşüncelere göre, yere çakılı durumdasınız çünkü vücudunuz uzayda (aslında uzay-zamanda) dünyanın oluşturduğu girintiden aşağıya doğru kaymaya çalışmaktadır.*

Einstein bu fikrini matematiksel temellere oturtabilmek için yıllarını verdi; sonunda, genel görelilik kuramının özünü oluşturan *Einstein Alan Denklemleri* ortaya çıktı. Bu denklemler, bel-

* Eğri bir uzayı düşünebilmek, eğri bir zamanı düşünebilmekten daha kolaydır, bu nedenle Einstein'ın kütleçekimi kuramı daha çok eğrilmiş uzay kavramı ile anlatılır. Bununla birlikte, dünya ve güneş gibi bildik nesnelerin yarattığı kütleçekiminde asıl etkili olan uzayın değil, zamanın eğriliğidir. Bir benzetme yapmak gerekirse; biri yerde, diğeri Empire State Binası'nın tepesinde duran iki saat düşünün. Yerde duran saat dünyanın merkezine daha yakın olduğu için, Manhattan'a tepeden bakan bir yerde duran saate göre kütleçekiminden biraz daha fazla etkilenir. Genel göreliliğe göre, bu iki saat için zamanın akış hızı az da olsa farklılık gösterecektir: Yerdeki saat, diğerine göre bir miktar geri kalacaktır (bir yıl içinde saniyenin milyarda biri kadar). Bu iki saat arasında oluşan zaman farkı, zamanın eğrilmesine bir örnektir. Buna göre, genel görelilik nesnelerin zamanın daha yavaş aktığı tarafa doğru yöneldiklerini savunur. Diğer bir deyişle, tüm nesneler olabildiğince daha yavaş yaşlanmayı "isterler". Einstein'ın bakış açısına göre, nesnelerin bırakıldıklarında yere düşmeleri bu şekilde anlaşılabilir.

li miktarda maddenin varlığı durumunda (daha doğrusu, enerjinin *E* ve kütlenin *m* birbirine dönüşebilir olduğu manasına gelen Einstein'ın $E = mc^2$ denklemine göre, madde ve enerji) uzay ve zamanın nasıl büküleceğini kesin bir şekilde bize anlatmaktadır.[3] Aynı kesinlikle, kuram bize uzay-zaman eğriliğinin, herhangi bir nesnenin –yıldız, gezegen, kuyrukluyıldız, ışığın kendisi– bu eğrilik içindeki hareketini nasıl etkilediğini de açıklamaktadır. Böylece, fizikçiler evren ölçeğinde hareketler hakkında ayrıntılı öngörülerde bulunabilmektedirler.

Genel görelilik kuramının geçerliği konusunda destekleyici kanıtlar gelmekte gecikmedi. Gökbilimciler Merkür gezegeninin güneşin çevresindeki yörüngesinin Newton'un yasasının öngörüsüne göre hafif bir sapması olduğunu çok uzun zamandır biliyorlardı. 1915'te Einstein yeni denklemlerini Merkür'ün yörüngesini tekrar hesaplamak için kullanarak farklılığı açıklamayı başardı. Daha sonra meslektaşı Adrian Fokker'a, bu gerçekleşmenin kendisi için nasıl müthiş bir şey olduğunu ve kalbinin hiç durmadan saatlerce nasıl çarpıp durduğunu söyleyecekti. 1919'a gelindiğinde, Arthur Eddington ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği astronomik gözlemler, uzak yıldızlardan gelip güneşin yakınından geçerek yeryüzüne ulaşan ışığın, aynen genel görelilik kuramında öngörüldüğü gibi, eğri bir yol izlediğini ortaya koydu.[4] Bu teyidin ardından –ve *New York Times* gazetesinin GÖK KUBBEDE BÜTÜN IŞIKLAR KAVİSLENİYOR, BİLİM DÜNYASI BULUŞUN HEYECANI İÇİNDE manşetinden sonra– Einstein dünyanın yeni dâhisi ve Isaac Newton'un varisi olarak dünyaca tanınır hale gelmişti.

Ancak, genel görelilik kuramına yönelik en etkileyici kanıtların ortaya çıkmasına daha çok zaman vardı. 1970'lerde hidrojen mazer saatleri kullanılarak yapılan deneyler (mazerler lazerlere benzer, ancak mikrodalga frekansında çalışırlar) dünyanın, çevresindeki uzay-zamanı büktüğüne dair genel görelilik öngörüsünü 15.000'de 1 oranında bir hassasiyetle doğruladı. 2003'te, güneşin yakınından geçen radyo dalgalarının izlediği yol Cassini-Huygens uzay aracı kullanılarak ayrıntılı şekilde incelendi

ve elde edilen veriler, genel görelilik kuramının öngörüsü olan eğri uzay-zaman kavramını 50.000'de 1 oranında bir hassasiyet ile destekler nitelikteydi. Artık geçerliğini ispat etmiş bir kuramın sağladıkları ile çoğumuz aslında avucumuzun içinde genel görelilik kuramıyla dolaşıyoruz. Akıllı telefonunuzda arada sırada kullandığınız küresel konumlama sistemi (GPS), içlerinde zamanlama cihazları bulunan uydularla iletişim kurar ve bu zamanlama cihazları dünyanın etrafında bulundukları yörüngede deneyimledikleri uzay-zaman eğriliğini rutin olarak dikkate alacak şekilde çalışmaktadır. Uydular bu eğriliği dikkate almasalardı, ürettikleri pozisyon verisi çabucak tutarsız bir hale gelirdi. 1916'da Einstein'ın uzay, zaman, kütleçekimi kavramlarını tanımlamak için geliştirdiği soyut matematiksel denklemler şimdi cebimizde taşıdığımız cihazlarla her gün kullanılır durumda.

Evren ve Çaydanlık

Einstein uzay-zamana hayat vermişti. Binlerce yıldır doğru kabul edilerek süregelen ve gündelik deneyimlerden yola çıkarak uzay ve zamanı değişmez bir zemin gibi gören bakış açılarını sorguladı. Kozmostaki hareketleri kontrol altında tutan ve görünmez bir koreografi ustası gibi işlev gören uzay-zamandaki bu bükülmeleri başka kim düşünebilirdi? Bu, Einstein'ın öngördüğü ve gözlemlerle de kanıtlanmış bir devrimdir. Ne var ki ilk başlarda Einstein, asırlardır süregelen temelsiz önyargıların da etkisiyle hatalara da düştü.

Genel görelilik kuramının yayınlanmasının üzerinden daha bir yıl bile geçmeden Einstein kuramını olabilecek en büyük ölçeğe, bütün kozmosa uygulamaya kalktı. Bunun fazlaca cesur bir girişim olduğunu düşünebilirsiniz, ama kuramsal fizik ustalığı kuramsal bir çalışmayı sürdürürken temel fizik ilkelerini koruyarak son derece karmaşık olanı basite indirgemeyi gerektirir. Bu, neyin ne ölçüde göz ardı edilebileceğini de dikkate almayı gerektiren bir ustalıktır. Einstein *kozmolojik prensip* ile böylesi bir ustalığı ve kuramsal kozmolojiyi bağdaştırarak basite indirgenmiş bir anlayış oluşturmuştur.

Kozmolojik prensip, eğer en büyük ölçekte incelenirse, evrenin her yerde aynı olduğunu savunmaktadır. Sabah çayınızı ele alalım. Mikroskobik boyutta bakılırsa çayın içinde birbirine benzeşmeyen maddeler olduğu görülecektir. Kimi yerde su molekülleri, arada boşluklar, bazı polifenol ve tanin molekülleri, daha geniş boşluklar ve benzerleri. Makroskobik olarak bakıldığında ise görebildiğimiz, çayın her yeri aynı olan bir sıvı olduğudur. Einstein evrenin aynı bir fincan çay gibi olduğunu düşünmüştü. Gözümüzle izleyebildiklerimiz –burada bir dünya, bir boşluk, sonra orada bir ay, tekrar başka boşluklar, Venüs, Merkür gibi gezegenler, yine boşluklar ve güneş– küçük ölçekli ayrışıklıklardır. Einstein, kozmolojik ölçekte bu türden ayrışıklıkların göz ardı edilebileceğini, çünkü çay örneğinde olduğu gibi, hepsinin aslında her yeri aynı olan bir bütünlüğe ait olduklarını belirtti.

Einstein'ın zamanında kozmolojik prensibi destekleyecek kanıtlar çok güçlü değildi (öbür gökadalar üzerine araştırmalar hâlâ sürüyordu), ancak Einstein'ın kozmostaki hiçbir noktanın diğerlerine göre özel olmadığı konusunda güçlü sezgileri vardı. Evrenin herhangi bir bölgesi diğeriyle esasında aynı genel fiziksel özellikleri taşıyor olmalıydı. O zamandan günümüze gökbilimsel araştırmalar kozmolojik prensibi destekleyen önemli bilgiler sağladı, ama bu bilgiler uzayı ancak 100 milyon ışık yılı (Samanyolu'nun bir ucundan diğerine olan uzaklığının bin katı) ölçeğinde gözlemlediğiniz takdirde doğrudur. Diğer bir deyişle, her kenarı yüz milyon ışık yılı olan bir kutu alıp buraya yerleştirin. Sonra benzer başka bir kutu daha alıp onu da bulunduğunuz yerden bir milyar ışık yılı öteye koyun, sonra da her bir kutunun içindekileri ortalama olarak ölçmeye çalışın –gökadaları, maddeleri, sıcaklığı ve benzerini. İki kutuyu birbirinden ayırt etmekte zorlanırsınız. Kısacası, kozmosun 100 milyon ışık yıllık bir kısmını görebilseydiniz, bunların neredeyse hepsini de zaten görmüş olurdunuz.

Bu türden bir her noktada aynı olma durumu, tüm evreni incelemek için genel göreliliğin denklemlerini kullanabilmek adına

önem taşımaktadır. Neden biliyor musunuz? Diyelim ki sizden güzel, sakin, her şeyin aynı gözüktüğü bir kumsaldaki küçük ölçekli nesneleri tanımlamanızı istedim –yani her bir minik kum taneciğini. Afallarsınız –sizden istenen son derece zor bir iştir. Ama sizden yalnızca o kumsalın genel birtakım özelliklerini (bir metreküpteki ortalama kum ağırlığı, sahilin bir metre karelik yüzeyinin yansıma katsayısı vb.) tanımlamanızı istersem, istenen iş makul gözükür. Bunun nedeni, kumsalın her yerinin aynı olmasıdır. Kumun bir yerindeki ortalama ağırlığını, sıcaklığı, yansıma katsayısını hesapla, işin biter. Aynı ölçümleri kumun değişik noktalarında yaparsanız, yine aynı sonuçlara ulaşırsınız. Tıpkı her yeri aynı olan bir evrende yapılabilecek ölçümler gibi. Her bir gezegeni, yıldızı ya da gökadayı tanımlamak imkânsız bir iş olurdu. Ama her yerde aynı olan bir kozmosun ortalama özelliklerini tanımlamak kuşkusuz çok daha kolaydır –ve genel göreliliğin ortaya konulmasıyla başarılabilir.

Şöyle oluyor: Uzayın belli bir parçasının ortalama içerik özelliği ne kadar "nesne" barındırdığı ile tanımlanır. Daha açık belirtmek gerekirse, maddenin o uzay parçasındaki yoğunluğuyla, hatta maddenin ve enerjinin yoğunluğuyla tanımlanır. Görelilik kuramının denklemleri bu yoğunluğun zaman içinde nasıl değiştiğini tanımlar. Ancak, kozmolojik prensibi dikkate almadan bu denklemlerin kullanılabilmesi oldukça zordur. On tane denklem vardır. Her bir denklem birbiriyle bağlantılı olduğu için matematiksel olarak hep birlikte âdeta bir Gordion düğümü oluştururlar. Einstein, bu denklemlerin her yerde aynı olduğu kabul edilen bir evrene uygulandığında, matematiksel açıklamaların basite indirgenebildiğini görmüştü: On ayrı denkleme ihtiyaç kalmıyor, tek bir denklemle her şey açıklanabiliyordu. Kozmolojik prensip, kozmostaki madde ve enerjiyi açıklamada matematiksel karmaşıklığı ortadan kaldırarak açıklamayı tek bir denkleme bağlıyor, böylece Gordion düğümünü kesip atıyordu (bunu notlarda okuyabilirsiniz).[5]

Kendi açısından şanssızlık şu ki bu denklemi çalışırken Einstein beklenmedik ve pek hoşuna gitmeyen bir şeyi de fark et-

ti. Hâkim bilimsel ve felsefi görüş, evrenin sadece büyük ölçeklerde her yerde aynı olduğunu değil, değişmediğini de savunuyordu. Hızlı moleküler hareketlerin ortalamasının alınması sonucunda, dıştan bakıldığında görünüşü her tarafında aynı ve değişmez gözüken çayınız gibi, güneşin etrafında gezegenlerin, güneşin de gökada içinde dönüşü türünden gökyüzündeki hareketler ortalamaya vurulduğunda sonuçta değişmez bir kozmos yapısına bağlanması beklenirdi. Einstein, bu kozmik bakış açısına bağlanan bu durumun genel görelilikle uyuşmadığını anladı. Matematik, maddenin ve enerjinin yoğunluğunun zaman içinde sabit *kalamayacağına* işaret ediyordu. Yoğunluk ya artar ya da azalırdı; ama sabit kalamazdı.

Bu sonucun matematiksel çözümlemesi oldukça karmaşıksa da fiziksel olarak açıklanması daha basittir. Fırlatılan bir beyzbol topunun orta alana giderken yaptığı yolculuğu düşünün. Top, önce yukarı doğru fırlar, hız kaybederek en yüksek noktaya ulaşıp sonra aşağıya doğru inmeye başlar. Top, balon gibi havada asılı duramaz, çünkü güçlü kütleçekimi topu yerin yüzeyine doğru inmeye zorlar. Durağan bir durumun oluşabilmesi için, halat çekme oyunundaki beraberlik gibi, her iki taraftan da eşit güçlerin birbirlerini sıfırlayıp hareketi sabitlemesi gerekir. Bir balonda aşağıya doğru kütleçekimini dengeleyen yukarıya doğru itki hava basıncının etkisiyle gerçekleşir (çünkü balon havadan daha hafif olan helyumla doldurulmuştur). Oysa havadaki beyzbol topuna etkiyen kütleçekimi karşıtı bir güç yoktur (hava direnci hareket halindeki balonu etkiler ama sabit bir durumda etkisi olmaz), bu nedenle top belli bir yükseklikte sabit kalamaz.

Einstein evrenin balondan çok beyzbol topuna benzediğini fark etmişti. Kütleçekimine karşı koyacak dış bir güç olmadığı için, genel görelilik evrenin sabit olamayacağını gösteriyordu. Uzayın dokusu ya genişler ya da büzülürdü ama ölçüsü sabit kalamazdı. Bugün 100 milyon ışık yıllık bir uzay parçası yarın yine 100 milyon ışık yıllık olamayacaktı. Ya daha genişlemiş ve içindeki madde yoğunluğu azalmış olacak (geniş bir hacimde daha

seyrek bir dağılım) ya da daha küçülecek ve içindeki madde yoğunluğu artacaktı (küçük bir hacimde yoğunlaşma).[6]

Einstein irkilmişti. Genel göreliliğin matematik hesaplamalarına göre, en büyük ölçekte evrenin değişmesi gerekiyordu, çünkü alt dokusu olan uzayın kendisi değişecekti. Einstein'ın denklemlerine dayanarak ifade etmeye çalıştığı sonsuz ve sabit evren anlayışı çökmüştü. Kozmolojiye önayak olmuştu ama kafası daha çok matematiğin onu sürüklediği yer için endişelenmekle meşguldü.

Kütleçekimini Vergilendirmek

Einstein'ın çalışma defterine geri dönüp genel görelilik kuramının denklemlerini yalnızca her yerde aynı olan değil, aynı zamanda değişmeyen bir evren modeline uygun biçime getirmeye çalıştığı söylenir. Ancak bu kısmen doğrudur. Gerçekten de Einstein, inandığı sabit bir evren modelini destekleyebilmeleri için denklemlerini değiştirmiştir, ancak ortaya çıkan değişim çok küçüktür ve böyle olması da son derece akla yatkındır.

Bu konudaki matematiksel durumu anlayabilmek için, vergi formlarınızı doldurduğunuzu düşünün. Satırlara rakamları girersiniz, ama bazı satırları boş bırakırsınız. Matematiksel olarak, boş bırakılmış satırların değeri sıfırdır, ancak zihninizde örtük olarak çok şey ifade ederler. Bu satırları boş bırakmışsınızdır, çünkü mali durumunuza ilişkin olmadıklarını saptamışsınızdır.

Genel görelilik kuramının matematiği bir vergi formu gibi düzenlenecek olsa, üç satırı olurdu. Bir satır, kütleçekimi ile ilgili uzay-zaman geometrisini –eğrilme ve bükülmeler– gösterirdi. İkinci satır, kütleçekiminin (ve eğrilmelerle bükülmelerin) nedeni olan maddenin uzaydaki dağılımını tanımlardı. Einstein, on yıllık hummalı çalışmaları sırasında bu iki özelliğin matematiğine odaklanmış ve bu satırları doldururken büyük dikkat sarf etmişti. Ancak genel görelilik kuramının hesaplamalarında üçüncü bir satıra daha ihtiyaç vardı; matematiksel olarak diğer iki satırla tam bir uyum içinde olması gereken, ancak fizikteki anlamı daha zor anlaşılan bir satıra. Genel görelilik kozmosu açık-

larken uzayı ve zamanı dinamik elemanlar olarak tanımlayınca, bu kavramlar sadece nelerin, nerede ve ne zaman bulunduğunu açıklayan kavramlar olmanın ötesine geçip kendilerine has özellikleri olan fiziksel nesneler olarak önem kazandılar. Genel görelilik vergi formunun üçüncü satırında, uzay-zamanın kütleçekimi ile ilgili intensif bir özelliğini nicelleştiren bir bilgiye ihtiyaç vardı: *uzayın kendi dokusunda bulunan enerji miktarına*. Tıpkı her metreküp suyun, suyun sıcaklığı ile açıklanan belli miktarda bir enerjiye sahip olması gibi, her metreküp uzayın da işte bu üçüncü satırda açıklanması gereken belli bir enerjisi olmalıydı. Einstein genel göreliliği ortaya koyduğu makalesinde işte bu üçüncü satırı göz ardı etti. Matematiksel olarak bakıldığında, böyle bir satır bilgisinin bulunmaması o satırın değerini sıfır yapar. Ancak, tıpkı vergi formunda boş bırakılmış satırın ifade edeceği gibi, Einstein'ın bu konuyu tamamen bir kenara ittiği anlaşılmaktadır.

Genel görelilik kuramı sabit bir evren modeliyle uyuşmaz kalınca, Einstein kuramın matematiğini yeniden ele alıp o üçüncü satırla daha fazla ilgilenmeye başladı. Bu satırın değerinin sıfır olmasını gerektirecek herhangi bir gözlemsel ya da deneysel gerekçe yoktu. Ancak, dikkate değer bir fiziksel içeriği vardı.

Bu üçüncü satıra sıfır yerine uzayın dokusunda her yerde aynı pozitif bir enerji olduğunu belirten pozitif bir sayı girerse, uzayın her kısmının birbirini itmesiyle oluşan bir güç ortaya çıkıyordu: *İtici kütleçekimi*. Bu, pek çok fizikçiye göre imkânsız bir şeydi. Dahası, Einstein bu üçüncü satıra koyduğu sayının değerini tam olarak ifade edebilirse, durağan bir evrene yol verecek biçimde kozmosta oluşan itici kütleçekimi kuvveti ile uzaydaki maddelerin bilinen kütleçekimi kuvvetinin dengeleneceğini fark etti (bunun nedenlerini bir sonraki bölümde açıklayacağım). Ne yükselen ne de alçalan, havada asılı duran bir balon gibi, evren değişmez duracaktı.

Einstein üçüncü satırı *kozmolojik üye* ya da *kozmolojik sabit* olarak adlandırdı. Bunu yerli yerine oturtunca rahatlamıştı. Daha doğrusu biraz rahatlamıştı. Eğer evrende doğru miktarda bir

kozmolojik sabit varsa –yani evren doğru miktarda bir iç enerjiye sahipse– kuramında daha önce belirttiği gibi evrenin büyük ölçeklerde değişmezliği düşüncesi uygun düşecekti. Einstein, bu durumu doğrulamak için uzayın neden tam da doğru miktarda bir enerjiye sahip olması gerektiğini açıklayamadı, ama en azından doğru değerde bir kozmolojik sabitle desteklendiğinde, genel göreliliğin gerek kendisinin gerek başkalarının beklentilerine uyan bir kozmos açıklaması sağlayabileceğini göstermiş oldu.[7]

İlk Atom

Lemaître 1927'de Brüksel'deki Solvay Konferansı'nda Einstein'a genel göreliliğin evrenin genişlediğini gösterecek yeni bir kozmolojik paradigma gerektirdiğini söylediğinde durum böyleydi. Einstein durağan bir evreni doğrulayacak matematik hesaplamalarla çoktan boğuşmuştu ve Friedmann'ın benzer savlarını da reddetmişti. Bu nedenle, genişleyen bir evren fikrine tahammülü yoktu. Bu yüzden, Lemaître'i matematiğe körü körüne bağlandığı ve berbat bir fizik yaklaşımı ile saçma sapan bir sonuca ulaştığı için suçlamıştı.

Saygın bir bilim insanı tarafından böylesine azarlanmak az şey değildi, ama Lemaître yılmadı. 1929'da Mount Wilson Gözlemevi'nde bulunan dünyanın o zamanlardaki en büyük teleskobunu kullanan Amerikalı gökbilimci Edwin Hubble, uzak gökadaların Samanyolu'ndan hızla uzaklaşmakta olduklarını gösteren inandırıcı veriler topladı. Hubble'ın incelediği uzaktaki fotonlar (ışık taneciği) dünyaya yaklaşırken aslında şu mesajı da veriyorlardı: Evren sabit değildi. Genişlemekteydi. Bu nedenle, Einstein'ın kozmolojik sabitinin bir dayanağı yoktu. Sıkıştırılmış bir yapıdan başlayan ve giderek genişleyen evren düşüncesini öne süren büyük patlama modeli, bilimsel yaratılış öyküsü olarak geniş yankı uyandırdı.[8]

Lemaître ve Friedmann haklı çıkmışlardı. Friedmann genişleyen evren fikrini ilk ortaya atan kişi olarak, Lemaître ise bu düşünceleri kozmolojik senaryolara uyarlayan kişi olarak ün kazandı. Yaptıkları çalışmalar kozmos üzerine yapılan araştırma-

ların matematiksel boyutu açısından büyük bir başarı olarak övgüyle karşılanıyordu. Diğer yandan, Einstein genel göreliliğin vergi formlarına eklediği o üçüncü satırla baş başa kalmıştı. Eğer evrenin sabit olduğuna ilişkin haksız kanaatinde ısrarcı olmasaydı, kozmolojik sabiti de ortaya atmamış olacaktı, dolayısıyla, evrenin genişlediğini bu olgunun gözlemlenmesinden on yıl önce öngörmüş olabilirdi.

Ne var ki kozmolojik sabitin öyküsü bu kadarla kalmayacaktı.

Modeller ve Veriler

Kozmolojinin büyük patlama modelinde önemli bir ayrıntı vardır. Bu model yalnızca tek bir senaryo değil, genişleyen bir evrene işaret eden farklı birkaç senaryo sunmaktadır. Ancak bu senaryolar uzayın genel biçimine bağlı olarak –daha açık belirtmek gerekirse, tüm uzayın sonlu ya da sonsuz oluşuna bağlı olarak– değişiklik göstermektedir. Uzayın sonlu ya da sonsuz olması durumu paralel evrenler açısından da önemli olduğu için, burada olasılıklar üzerinde biraz durmak istiyorum.

Kozmolojik prensip –kozmosun her yerde aynı olduğu ilkesi– uzay geometrisini kısıtlar, çünkü biçimler her zaman aynı değildir: Belli bir yerdeki kabarıyorsa, başka bir yerdeki düzleşebilir ya da bükülebilir. Fakat kozmolojik prensip üç boyutlu uzayımız için de tek bir biçim manasına gelmez; bunun yerine, olasılıkların miktarını önemli ölçüde azaltarak bir aday biçimler kümesi verir. Bir benzetme yapmak profesyoneller için bile zor olsa da *iki* boyutluluk durumunda matematiksel olarak doğruluk taşıyan şöyle bir örnek vermeye çalışalım.

Önce yusyuvarlak bir bilardo topu düşünün. Yüzeyi iki boyutludur (tıpkı dünyanın yüzeyindeki gibi, topun üzerindeki bir noktanın yerini enlem ve boylam değerlerini vererek belirlemek mümkündür ve iki boyutlulukla kastettiğimiz budur) ve topun üzerindeki her nokta birbiriyle tamamıyla aynıdır. Matematikçiler bilardo topunun yüzeyini *iki boyutlu küre* yüzeyi olarak adlandırır ve kürenin *sabit pozitif eğriliği* bulunduğunu belirtirler. Fazla ayrıntıya girmeden söylemek gerekirse, "pozitif" şu anla-

ma gelmektedir: Eğer küresel bir aynada kendinizi görmek isterseniz, görüntünüz dışa doğru bükülecektir. "Sabit" kavramı da görüntünüz kürenin hangi parçasında yansıyor olursa olsun, bükülmenin değişmeyeceği anlamına gelmektedir.

Şimdi üzeri kusursuz bir biçimde düz olan bir masa düşünün. Tıpkı bilardo topunda olduğu gibi, masanın üstü de her yerinde aynı ya da yakın özelliklere sahip olsun. Bu masanın üstünde yürüyen bir karınca olsaydınız, masanın kenarından uzak kaldığınız sürece, bu masanın belli bir yerinde dururken gördükleriniz, herhangi başka bir yerinde dururken görebileceklerinizden farklı olmazdı. Masanın kenarına yaklaşma durumuna karşı, masanın bütününde aynı biçimi sağlamak o kadar da zor değildir. Bunun için sadece kenarları bulunmayan bir masa düşünmemiz yeterlidir. Bunu yapabilmenin iki yolu var. Sağa ve sola, aynı biçimde ileriye ve geriye sonsuz biçimde uzanan bir masa düşünün. Elbette alışılagelmiş bir şey değil ama sonsuz büyüklükte yüzeye sahip bir masa olsun ve kenarları olmadığı için de düşmek söz konusu olmasın. Diğer yandan, o eski video oyunları ekranına benzeyen bir başka masa düşünün. Oyun karakteri Bayan Pac-Man ekranın sol tarafına geçince birden sağ tarafta yeniden beliriversin. Ekranın alt tarafındayken de birden üst tarafına geçsin. Normal masalarda böyle bir şey olmaz ama bu tür bir masa iki boyutlu *torus* adı verilen geometrik uzay modeline iyi bir örnektir. Bu örneği notlarımda ayrıntılı olarak ele alıyorum,[9] ancak burada vurgulanması gereken en önemli konu şu ki aynen sonsuz yüzeyli bir masada olduğu gibi, video oyunu ekranında da hem her yerde aynılık geçerlidir, hem de hiçbir kenar bulunmamaktadır. Bayan Pac-Man için sınır söz konusu değildir; tüm sınırları aşar ve oyunda kalır.

Matematikçilere göre, sonsuz yüzeyli bir masa ve video oyunundaki yüzey *sabit sıfır eğrilik* gösteren biçimlerdir. Burada "sıfır" şu anlama gelmektedir: Eğer söz konusu masa ya da video oyununun olduğu ekran aynayla kaplanmış olsa ve görüntünüze bakmak isteseydiniz, görüntünüz hiç de eğilip bükülmezdi. "Sabit" ifadesi de şu anlama gelmektedir: Hangi noktadan görün-

tünüze bakarsanız bakın, görüntü aynı gözükürdü. Bu iki şekil arasındaki farklılık ancak daha geniş bir bakış açısı ile bakıldığında anlaşılabilir. Yüzeyi sonsuz olan bir masada yolculuk yapıp belli bir yöne doğru gitseniz, başladığınız noktaya hiçbir zaman dönemezsiniz. Video oyunundaki gibi bir yüzeyde de bütün şekli katedip başladığınız noktaya dönmeniz mümkündür, direksiyonunuzu hiç çevirmemiş olsanız bile.

Şimdi, bir Pringles patates cipsi düşünün. Bu cipsi sonsuz biçimde genişlettiğinizde –ki bunu kafanızda canlandırmak daha da zor olabilir– matematikçilerin *sabit negatif eğrilik* olarak adlandırdıkları bir şekil ortaya çıkar. Bu demektir ki böylesi bir cipsin üzerine kaplanmış aynaya baktığınızda, görüntünüz içeri doğru bükülmüş biçimde gözükecektir.

Şanslıyız ki iki boyutlu her yerde aynı niteliğe sahip şekillerin bu tanımlamaları kozmosun üç boyutlu gerçeğine kolayca uyarlanabilir. Pozitif, negatif ve sıfır eğrilikler –her yerde sabit dışbükey, içbükey ya da düz– üç boyutlu şekiller için de geçerli tanımlamalar. Hatta iki kat şanslıyız çünkü üç boyutlu şekiller iki boyutlu akrabalarıyla matematiksel olarak o denli benzeşirler ki pek çok fizikçi gibi siz de doğruluk payından çok az bir kayıpla şunu yaparsınız: Zihninizde genellikle şekilleri iki boyutlu örnekleri üzerinden canlandırırsınız (zihnimizde şekilleri düşünürken onları hep bir ortam içinde düşünürüz –bir uçağı havada, bir gezegeni uzayda– ama gelin görün ki uzayın kendisini düşündüğümüzde onu içine yerleştireceğimiz bir ortam bulamayız).

Aşağıdaki tabloda, sözünü ettiğimiz olası şekilleri özetleyip bazılarının sınırlı boyutları bulunduğunu (küre, video oyunu ekranı), bazılarının da sınırsız olduğunu (sonsuz yüzeyli masa, sonsuz geniş bir Pringles patates cipsi) belirttim. Tablo 2.1. şu haliyle tamamlanmış sayılamaz. İkili *dört yüzlü uzay* ya da *Poincaré on iki yüzlü uzay* gibi her yerinde aynı eğilme biçimleri izlenebilecek olası başka şekiller de eklenebilir ama onlardan burada bahsetmedim, çünkü günlük yaşamımızdaki nesneleri kullanarak bu şekilleri gözümüzde canlandırmak daha da

zor olacaktı. Bu şekiller, makul dilimleme ve soyma yoluyla listelediğim diğer şekillerden elde edilebilirler; bu nedenle Tablo 2.1.'in iyi bir örnek teşkil etiğini söyleyebiliriz.

ŞEKİL	EĞRİLİĞİN TÜRÜ	UZAYIN BOYUTU
Küre	Pozitif	Sonlu
Masanın üstü	Sıfır (ya da "düz")	Sonsuz
Video oyunu ekranı	Sıfır (ya da "düz")	Sonlu
Pringles patates cipsi	Negatif	Sonsuz

Tablo 2.1. Evrendeki herhangi bir alanın bir başka alanla bire bir aynı olduğu varsayımıyla (kozmolojik prensip) tutarlı olası şekiller.

Ancak tüm bu ayrıntılar asıl çıkarılması gereken sonuca kıyasla ikinci planda kalır: *Kozmolojik prensip tarafından savlanan kozmosun her yerde aynı olduğu düşüncesi evrenin şekline dair olasılıkları önemli ölçüde azaltmaktadır. Bazı şekillerin sonsuz uzamsal genişlikleri söz konusuyken bazılarının olmayabilir.*[10]

Evrenimiz

Friedmann ve Lemaître tarafından matematiksel olarak kanıtlanan evrenin genişlemesi olgusu, sözü edilen şekilleri barındıran bir evren modeli için de kelimesi kelimesine geçerlidir. Pozitif eğrilik için, havayla şişirilen bir balonun yüzeyinin zihnimizde canlandırdığımız gibi iki boyutlu imgesini düşünelim. Sıfır eğrilik için, her yöne gerdirilmiş lastik bir tabaka aklımıza gelsin. Negatif eğrilik içinse bu lastik tabakayı Pringles cipsi biçimini alacak şekilde eritin ve gerdirmeye devam edin. Eğer gökadalar bu yüzeylerden herhangi birine serpiştirilmiş pırıltılarsa, uzayın genişlemesi sonucunda bu pırıltı zerreleri –gökadalar– birbirlerinden uzaklaşacaklardır; aynen 1929'da Hubble'ın uzaklardaki gökadalar ilgili gözlemleri sonrasında ortaya çıkardığı gibi.

Bu bakış açısı ikna edici gelebilir ama kesin ve eksiksiz olması şartını koşacak olursak, bu şekillerden hangisinin evrenimizi en iyi tanımladığına karar vermemiz gerekir. Bildiğimiz bir nesneyi, örneğin bir simidi, beyzbol topunu, buz küpünü alıp sağa so-

la çevirip şeklini anlayabiliriz. Sorun şu ki evren söz konusu olduğunda bunu yapabilmemiz mümkün değildir; evrenin şeklini ancak dolaylı yollarla anlamaya çalışırız. Genel göreliliğin denklemleri bize matematiksel bir strateji sağlar. Uzayın eğriliği tek bir gözlemsel niceliğe indirgenebilir: O da uzayda maddenin yoğunluğudur (tam olarak söylemek gerekirse, madde ve enerjinin yoğunluğu). Eğer çok miktarda madde varsa, kütleçekimi, küre biçimini oluşturacak biçimde, uzayın kendi üzerine doğru eğilmesine neden olacaktır. Eğer az miktarda madde varsa, uzay, aynı Pringles cipsi gibi dışa doğru açılarak eğilecektir. Gerektiği kadar madde olması durumunda ise uzayın eğriliği sıfır değerinde olacaktır.*

Genel göreliliğin denklemleri bize üç olasılık arasında kesin sınırlar çizmektedir. Matematik, "doğru miktarda madde"nin, yani kritik yoğunluğun, bugün santimetreküpte 2×10^{-29} gram olduğunu göstermektedir. Bu da her metreküpte altı hidrojen atomu anlamına gelir. Daha gündelik bir örnek verirsek, her dünya büyüklüğünde hacim için bir yağmur damlasına denktir.[11] Çevremize baktığımızda, evrendeki kritik yoğunluğun daha fazla olduğu düşünülebilir ama bu biraz aceleci bir sonuç olabilir. Kritik yoğunlukla ilgili matematiksel hesaplamalar maddenin uzayda homojen biçimde dağıldığını varsayarlar. Bu durumda dünyayı, ayı, güneşi, başka şeyleri alıp bunların sahip oldukları atomları kozmosa eşit miktarlarda yaydığınızı düşünmelisiniz. Bu noktada sorulması gereken soru, her bir metreküpün aşağı yukarı altı hidrojen atomuna eşit olup olmadığıdır.

Önemli kozmolojik sonuçlarından dolayı, gökbilimciler uzun yıllardır maddenin evrendeki ortalama yoğunluğunu ölçmeye çalışmaktadırlar. Yöntemleri basittir. Güçlü teleskoplarla uzayda geniş alanları gözlemleyip görebildikleri yıldızların, yıldız ve gökada hareketlerinin yardımıyla var olduğunu düşündükleri

* Maddenin içinde bulunduğu bölgeyi nasıl büktüğünü anlattığımız kısmı hatırlarsanız, burada madde bulunduğu halde neden bir bükülmeye yol açmadığını merak edeceksinizdir. Her yerde aynı olan bir maddenin varlığı söz konusu ise bu madde uzay-zamanı eğer; bu özel durumda ise sıfır değerli bir uzay eğriliği, ama değeri sıfır olmayan bir uzay-zaman eğriliği gerçekleşir.

diğer maddelerin kütlelerini toplamak. Yakın zamana kadar, yapılan gözlemler ortalama yoğunluğun düşük seviyede olduğunu, kritik yoğunluğun yüzde 27'si civarında seyrettiğini göstermiştir –bu da her bir metreküpte iki hidrojen atomu anlamına gelmekte ve negatif eğriliği olan bir evrene işaret etmektedir.

Ancak 1990'ların sonuna doğru, sıra dışı bir durum ortaya çıktı. Yapılan büyük ölçekli gözlemlere ve VI. Bölüm'de anlatacağımız mantıksal akıl yürütmelere dayanarak gökbilimciler hesaplamalarında önemli bir bileşeni göz ardı ettiklerini anladılar: Uzaya homojen biçimde yayılmış olan bir enerji. Bu bilgi hemen herkesi çok şaşırttı. Uzayı kaplayan böyle bir enerji mi vardı? Bu, tıpkı Einstein'ın seksen yıl önce sözünü edip sonra geriye çektiği kozmolojik sabite benziyordu. Modern gözlemler kozmolojik sabiti yeniden mi canlandırmıştı?

Aslında şu an kimse tam olarak bilemiyor. Bugün bile, yani ilk gözlemlerin üstünden on yıl geçmiş olmasına rağmen, gökbilimciler homojen enerjinin sabit olup olmadığını ya da zaman içinde uzayın belli bir alanında değişip değişmediğini anlamaya çalışıyorlar. Kozmolojik sabit, adından (ve genel göreliliğin vergi formunda matematiksel olarak tek bir sabit sayıyla gösterilmesi örneğinden) anlaşılacağı gibi değişmeden kalacaktı. Enerjinin evrildiğine ilişkin daha genel bir olasılığı açıklayabilmek ve enerjinin ışık yaymadığını (neden onca zamandır belirlenemediğini de açıklayarak) vurgulamak için gökbilimciler yeni bir terim ortaya attılar: *karanlık enerji*. "Karanlık" sözcüğü anlayamadıklarımızdan doğan boşlukları da doldurabiliyordu. Kimse karanlık enerjinin nasıl ortaya çıktığını, temel bileşenlerini ya da ayrıntılı özelliklerini açıklayamamaktadır. Daha sonraki bölümlerde bu konularda yapılan yoğun araştırmalara tekrar döneceğiz.

Yanıt bekleyen birçok soruya rağmen, gerek Hubble Uzay Teleskobu kullanılarak, gerek dünya üzerindeki gözlemevlerinden yapılan ayrıntılı gözlemler sonucu, uzayın içine işlemiş bu karanlık enerjinin *miktarı* konusunda bir görüş birliği sağlanabilmiştir. Elde edilen sonuç, Einstein'ın çok önceleri ifade ettiğinden farklıdır (Einstein durağan bir evren sağlayacak bir de-

ğer belirtmişti, oysa evrenimiz genişlemektedir.). Bu sonuç hiç de şaşırtıcı değildir. Ölçümlerden elde edilen bilgilere göre, uzaya yayılmış karanlık enerji kritik yoğunluğa yüzde 73 oranında katkıda bulunmaktadır. Gökbilimcilerin ölçmüş olduğu yüzde 27'lik orana eklendiğinde elde edilen toplam, kritik enerjinin yüzde yüzüne denk düşmektedir ki bu da sıfır uzaysal eğriliğe sahip bir evren için doğru madde ve enerji miktarı demektir.

Şu andaki veriler, böylelikle, örneklenen masanın üstü ya da video oyunu ekranının üç boyutlu versiyonu gibi durmadan genişleyen bir evren modelini desteklemektedir.

Sonsuz Bir Evrende Gerçeklik

Bu bölümün başında evrenin sonlu mu yoksa sonsuz mu olduğunu bilmediğimizi belirtmiştim. Önceki alt başlıklarda ise kuramsal çalışmalarımızdan her iki olasılığın da çıkabileceği ve her iki olasılığın da en hassas astrofizik ölçümler ve gözlemlerle doğrulanabileceği tartışıldı. Peki, bir gün gözlemlere dayanarak bu olasılıklardan hangisinin doğru olduğuna nasıl karar verebiliriz?

Zor bir soru bu. Eğer uzay sonlu ise yıldızların ve gökadaların yaydıkları ışıklar bizim teleskoplarımıza girmeden önce tüm kozmosun etrafında defalarca dolaşıyor olabilirler. Birbirine paralel aynalar arasında yansıyan ışınların çoklu görüntüler oluşturması gibi, uzayda dönüp duran ışınlar da yıldızların ya da gökadaların çoklu görüntülerine yol açıyor olabilir. Gökbilimciler bu türden çoklu görüntüler üzerinde araştırma yaptıkları halde henüz kesin bir sonuca ulaşamamışlardır. Bu, kendi başına, uzayın sonsuz olduğuna işaret etmese de şöyle bir düşünceyi çağrıştırabilir: Eğer uzay sonlu ise o denli büyük olmalı ki ışık kozmik parkurda çoklu gidiş gelişlerini tamamlamaya zaman bulamıyor. Bu da gözlemsel açıdan zorluk yaratmaktadır. Evren sonlu olsa bile, ne kadar büyükse o kadar sonsuzmuş gibi gözükme olasılığı bulunmaktadır.

Evrenin yaşı gibi bazı kozmolojik sorular söz konusu olduğunda, bu iki olasılıktan hangisinin doğru olduğunun bir önemi yoktur. Evren sonlu ya da sonsuz olsun, çok önceleri göka-

dalar birbirlerine çok daha yakın biçimde duruyor ve evreni daha yoğun, daha sıcak ve daha farklı bir yapıda tutuyorlardı. Günümüzde, evrenin genişleme oranına ilişkin gözlemleri ve zaman içinde bu oranın nasıl değiştiğine yönelik kuramsal bilgileri kullanabilir, gördüğümüz her şeyin bir zamanlar nasıl da inanılmaz yoğunlukta ufacık bir topak olduğunu ve evrenin başlangıcı dediğimiz o zamandan bu yana ne kadar süre geçtiğini söyleyebiliriz. Sonlu ya da sonsuz olsun, evren konusunda yapılan çok hassas çözümlemeler her şeyin yaklaşık 13,7 milyar yıl önce başladığına işaret ediyor.

Bu konuda önemli olmasa da başka konularda evrenin sonlu mu sonsuz mu olduğu önem taşımaktadır. Evrenin sonlu olması durumunda, örneğin, kozmosun çok eski zamanlardaki durumunu düşünürsek sürekli biçimde büzülen bir uzay bütünlüğü akla gelmeli. Matematik sıfır zamanına kadar inemiyorsa da o sıfır zamanına yaklaşılan ilk zamanlarda evrenin küçücük bir zerrecik olduğunu dikkate almak gerekir. Evrenin sonsuz olması durumunda ise bu tanımlama yanlış olur. Evren eğer gerçekten sonsuzsa, evrenin her zaman böyle olduğunu ve böyle kalacağını düşünmemiz gerekir. Büzülünce, içindekiler de birbirlerine yaklaşarak sıkışırlar, böylece maddenin yoğunluğu artar, ama genel boyutu *sonsuz* olmaya devam eder. Sonsuz genişlikte bir masayı iki kat büzün, ne elde edersiniz? Sonsuzluğun yarısı yine sonsuzluk eder. Bir milyon katı büzün, ne olur? Yine sonsuzluk. Başlangıç zamanına ne kadar yakın bir evren düşünürseniz her noktada o kadar çok yoğun olan bir evren söz konusu olur, ama uzamsal boyutu sonsuzluğunu korur.

Gözlemler sonlu-sonsuz evren konusunda kesin bir sonuç ortaya koyamasalar da biraz deşince fizikçilerin ve gökbilimcilerin sonsuz evren fikrine daha yakın durduklarını gördüm. Bu durum kısmen şundan kaynaklanıyor olabilir: Uzun yıllar araştırmacılar video oyunu örneğindeki o sonlu biçime pek aldırış etmediler. Bunu incelemek büyük olasılıkla daha karmaşık matematiksel çözümlemeler gerektiriyordu. Belki de sonsuz bir evrenle, sonlu ama çok büyük bir evren arasındaki farkları ince-

lemenin yalnızca akademik çevrelerin işi olduğu yönünde yanlış bir kanı vardı. Sonuçta, eğer evren o kadar büyükse zaten onun ancak küçük bir dilimini inceleyebilirdiniz; görebildiğinizden ötesinin sonlu ya da sonsuz olması önemli miydi?

Elbette önemliydi. Evrenin sonlu ya da sonsuz olması gerçekliğin niteliğiyle ilgili olarak büyük öneme sahiptir. Bu da bizi bu bölümün en önemli kısmına götürür. Şimdi sonsuz büyüklükte bir evren düşünelim ve ne anlamlara gelebileceğini yorumlayalım. Bir kere, fazla güç sarf etmeden, kendimizi sonsuz sayıdaki paralel evrenlerden birinde yaşar bulacağız.

Sonsuz Uzay ve Kapitone Örtü

Sonsuz kozmik derinliklere dalmadan önce basit bir noktadan, dünyadan başlayalım. Diyelim ki arkadaşınız İmelda'nın dış görünüşüne olan tutkusundan dolayı, üzerleri pahalı taşlarla işlemeli beş yüz tane elbisesi ve bin çift de özel tasarım ayakkabısı var. İmelda her gün bir elbiseyi belli bir çift ayakkabı ile giyse gün gelecek, olası tüm kombinasyonları tüketecek ve daha önce giydiği bir elbiseyi tekrar giyecektir. Bunun ne zaman olacağını hesaplamak gayet kolaydır. Beş yüz elbise ve bin çift ayakkabı 500.000 farklı kombinasyon yapar. Beş yüz bin gün ise 1400 yıl eder. İmelda eğer bu kadar yıl yaşasa, daha önce giydiği bir elbiseyle tekrar görünecektir. Uzun ömürler bahşedilen İmelda ölümsüz biri olsaydı ve tüm kombinasyonları tekrar oluşturarak giymeye devam etseydi her bir giysisini sonsuz kere giyecekti. Sınırlı sayıda giysiyle sınırsız sayıda görüntü oluşturmak sınırsız sayıda tekrar anlamına gelmektedir.

Benzer biçimde devam edersek, şimdi diyelim ki iskambil kâğıtlarını dağıtan Randy, çok sayıda iskambil kâğıdı destesini ayrı ayrı karıştırdı ve her birini düzgün bir biçimde diğerinin yanına yerleştirdi. Her bir destedeki iskambil kâğıtlarının sırası farklı olabilir mi yoksa bu sıra tekrar mı eder? Bu sorunun yanıtı destelerin sayısına bağlıdır. Elli iki iskambil kâğıdı 80.658.175.170.943.878.571.660.636.856.403.766.975.289.505.440.883.277.824.000.000.000.000 farklı biçimde sıralanabilir (hangi kâğıdın ilk kâğıt

olacağına bağlı 52 olasılık kere ikinci kâğıdın hangisi olacağına bağlı 51 olasılık kere üçüncü kâğıt için 50 olasılık ve benzeri). Randy'nin karıştırdığı destelerin sayısı olası kâğıt sıralamaları sayısını geçerse, o zaman bazı destelerdeki kâğıtların sırası örtüşebilir. Eğer Randy sonsuz sayıda deste karmış olsaydı kâğıtların sıralamasında sonsuz kere örtüşme olacaktı. İmelda ve giysilerinde olduğu gibi, sınırlı sayıda olası düzenlemelerle sınırsız sayıda görünümler olacaksa, bu sonsuz sayıda tekrarlar anlamına gelecektir.

Bu temel bilgi, sonsuz bir evreni inceleyen kozmolojinin özünü oluşturmaktadır. İşte neden böyle olduğuna ilişkin iki önemli açıklama:

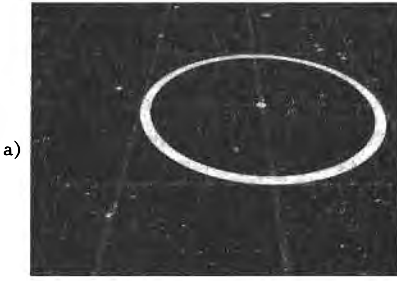
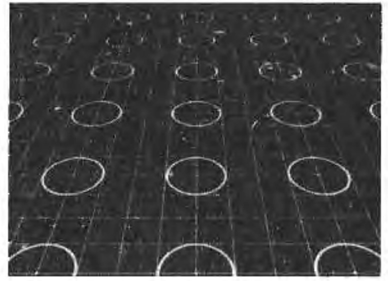
Sonsuz bir evrende, çoğu alan görebildiğimiz sınırların ötesinde yer almaktadır, en güçlü teleskopları kullansak bile. Işık inanılmaz bir hızla hareket etse de bir cisim yeterince uzakta ise yaydığı ışık –hatta büyük patlamadan kısa bir süre sonra yayılmış olan ışık bile– bize henüz ulaşmamış olacaktır. Evren 13,7 milyar yaşındaysa, 13,7 milyar ışık yılından daha uzaktaki her hangi cismin durumu da bu kapsamda düşünülmelidir. Bu biçimde bir akıl yürütme doğru olmakla birlikte, ışıkları uzayda uzun süre yolculuk edip bize ancak ulaşan nesnelerin bize olan uzaklıkları da uzayın genişlemesi sonucu artmaktadır. Bu nedenle, görebileceğimiz maksimum mesafe daha uzun bir mesafedir –yaklaşık 41 milyar ışıkyılı. [12] Burada rakam pek önemli değil; önemli olan, evrende belli bir mesafenin ötesinde kalan bölgelerin bizim gözlem sahamızın dışında kalmasıdır. Sahilde duran bir insan gemiyi denizde ufuk çizgisini geçtikten sonra nasıl artık göremiyorsa, gökbilimciler de gözlenemeyecek kadar uzakta yer alan cisimlerin *kozmik ufkumuzun* ötesinde kaldığını söylemektedirler.

Benzer biçimde, dünyanın saçtığı ışıklar da o uzak bölgelere henüz ulaşmış olamaz. Dolayısıyla, biz de onların kozmik ufkunun ötesinde kalıyoruz. Kozmik ufuk, yalnızca birinin görebileceği ya da göremeyeceği şeyleri ayıran bir çizgi değildir. Einstein'ın göreliliğinden hareketle, hiçbir sinyalin, hiçbir bilgi-

nin, kısacası hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı yol alamayacağını biliyoruz. Bu da şu anlama geliyor: Evrenin çok uzak köşelerinde yansıttıkları ışıkları bile bize daha ulaşamamış olan bölgeler zaten haklarında hiçbir bilgiye sahip olmadığımız ve tamamen bizden bağımsız kalmış ve evrilmiş bölgelerdir.

İki boyutlu bir benzetme yapacak olursak, belli bir zaman diliminde evrenin genişlemesini, yama parçaları dairesel olan devasa bir yamalı kapitone örtü örneğiyle açıklayabiliriz. Bu örtüdeki her bir dairesel yamanın çevresi bir kozmik ufuk çizgisi olsun. Yamanın tam ortasında bulunan birisi bu yamanın içinde kalan herhangi bir nokta ile iletişim sağlayabilir, ancak başka yamaların içindeki noktalarla iletişimi sağlayamaz (Şekil 2.1a) çünkü çok uzaktadırlar. Birbirine bitişik iki yamanın çevre çizgilerine yakın duran noktalar, bu yamaların merkezindeki noktaya göre birbirlerine daha yakındırlar, dolayısıyla iletişimleri olabilir. Ancak, kozmik örtüde birer satır ve birer sütun atlayarak ilerlersek, buralardaki yamaların içindeki noktaların birbirleriyle iletişim kurabilmesi olası değildir (Şekil 2.1b). Bu fikri, kozmik ufukların –kozmik örtüdeki yamaların sınırlarının– üç boyutlu olduğu küresel bir modele uyguladığımızda, yine aynı sonuç karşımıza çıkar: Birbirlerinden uzak düşen yamaların etkileşimi olamayacak, dolayısıyla, her biri bağımsız alanlar olarak varlıklarını sürdüreceklerdir.

Eğer uzay çok geniş ama sonlu ise tıpkı örtünün yamaları gibi, geniş ancak sınırlı sayıda benzer bağımsız birimlere ayırabiliriz. Eğer sonsuz ise o zaman *sınırsız* sayıda bağımsız yamalar olacaktır. Bu ikinci olasılık bize daha çekici geliyorsa ortaya koyduğumuz savın ikinci kısmı nedenini açıklıyor. Şimdi göreceğimiz gibi, herhangi bir yamadaki madde parçacıkları (daha açık söylemek gerekirse, madde ve her tür enerji) sadece sınırlı sayıda farklı konfigürasyonlarda sınıflandırılabilir. Tıpkı İmelda'nın ve Randy'nin örneklerinde açıkladığımız gibi, sonsuzluk içindeki yamaların durumları –evrenin içinde yaşadığımız bölgesi ve sınırsız kozmosta yayılmış diğer bölgeler gibi– *mutlaka* tekrarlanan bir örüntü gösterecektir.

a)   b)

Şekil 2.1 (a) Işığın sınırlı hızından dolayı, herhangi bir parçanın merkezinde bulunan bir gözlemci yalnızca kendi parçasının (kendi kozmik ufkunun) içindekilerle iletişim kurabilir. **(b)** Birbirlerinden yeterince uzak düşen kozmik ufukların aralarında iletişim kurabilmiş olması mümkün değildir; birbirlerinden tamamen bağımsız gelişirler.

Sonlu Olasılıklar

Sıcak bir yaz gecesinde sinir bozucu bir sineğin yatak odanızda vızıldayarak uçup durduğunu düşünün. Sinekliği denediniz, kötü kokulu spreylerden sıktınız. Hiçbir şey işe yaramadı. Çaresizlik içinde sineğe dönüp şöyle diyebilirsiniz: "Uçabileceğin bir sürü başka yer var. Kulağımın dibinde vızıldayıp durman anlamsız." Sinek de size şöyle diyebilir: "Sahi mi? Kaç tane yer var ki?"

Klasik bir evren modelinde, böylesi bir sorunun yanıtı şu olurdu: "Sonsuz sayıda çok yer var." Siz bunu söylediğinizde sinek (daha doğrusu, sineğin kütle merkezi) sola 3 metre, sağa 2,5 metre veya yukarı doğru 2,236 metre veya aşağıya doğru 1,195829 metre uçabilirdi ve böyle sürüp gider. Sineğin konumu sürekli olarak değişebileceğinden, uçabileceği sonsuz sayıda yer olurdu. Aslına bakarsanız, siz tüm bunları sineğe açıkladığınızda, sineğe yalnızca uçabileceği sonsuz yer alternatifi sağlamadığınızı, aynı zamanda sınırsız hız alternatifi de sağladığınızı düşünebilirsiniz. Sinek yanınızdayken, birden saatte bir kilometre hızla sağa doğru uçmaya başlayabilir ya da yine saatte çeyrek kilometre hızla yukarı doğru süzülüp saatte 0,349283 kilometre hızla bu sefer aşağı doğru uçabilir. Sineğin hızı her ne kadar kendi enerjisi de dahil olmak üzere birtakım etmenlere bağlıysa da (çünkü sinek ne kadar hızlı uçarsa o kadar çok enerji sarf eder) bu hız sürekli olarak değişebilecek ve sınırsız uçma hızı olasılıkları söz konusu olacaktır.

Sinek ikna olmamıştır ve şöyle der: "Bana bir santimetre, yarım santimetre ya da hatta çeyrek santimetre uzağa uçmamı söylediğinde seni anlıyorum, ama bana santimetrenin on binde biri ya da yüz binde biri kadar öteye ya da daha az bir mesafeye uçmamı söylersen bunu aklım almaz. Zeki bir kişi için bunlar farklı konumlar olabilir. Fakat deneyimlere göre, *burası* ve buranın santimetrenin milyarda biri kadar sol tarafı tamamen farklı yerler olamaz. Ben konumdaki bu kadar küçük bir farkı algılayamıyorum ve bu yerleri ayrı yerler olarak göremiyorum. Aynı şey hızım için de söz konusu. Saatte bir kilometre hızla uçmamla, bu hızın yarısı kadar bir hızla uçmam arasındaki farkı söyleyebilirim. Peki, saatte 0,25 km hızla 0,249999999 km hız arasındaki farka ne demeli? Lütfen! Ancak bilge bir sinek bunu ayırt edebileceğini iddia edebilir. İşin doğrusu, aramızda böyle bir sinek yok. Bana kalırsa bunlar aynı hızlar. Senin anlattığından çok daha az seçenek var."

Sinek önemli bir noktaya değindi. Teorik olarak, sinek sınırsız sayıda farklı pozisyonda ve sınırsız sayıda farklı hızda uçabilir. Pratikte ise konumda ve hızda fark edilemeyecek ölçüde ne kadar ince ayrıntılara gidilebileceğinin bir sınırı vardır. Sinek en iyi gereçleri kullansa bile değişmez bu. Sineğin uçuş konumları ve uçuş hızlarında minimum oranda ne kadar artış olabileceğinin ve bu oranın kaydedilebilir bir oran olmasının daima bir sınırı vardır. Bu artışlar ne kadar küçük olursa olsun, sıfır olmadıkları sürece, olası uçuş alternatiflerini önemli ölçüde azaltırlar.

Örneğin, eğer saptanabilen en küçük artış santimetrenin yüzde biri kadarsa o zaman her bir santimetre sınırsız sayıda saptanabilir alternatif değil, sadece yüz tane alternatif sunar. Her bir santimetreküp, o halde, 100^3 = 1.000.000 farklı uçuş konumu sağlayacaktır. Burası sizin ortalama büyüklükteki yatak odanızsa, yaklaşık 100 trilyon alternatif anlamına gelecektir. Sineğin bu alternatifleri kulağınızın dibinden uzaklaşacak kadar cazip bulup bulmayacağını söylemek zor. Buradan çıkacak sonuç şu ki *mükemmel çözünürlükle yapılmış ölçümler haricindeki her ölçüm, sonsuz sayıda olasılığı sonlu sayıda olasılığa indirger.*

Uzaydaki çok ince ayrımları ya da hız farklılıklarını ayırt edememenin sadece teknolojik bir kısıt olduğunu söyleyerek karşı çıkabilirsiniz buna. Ortaya çıkan gelişmelerle gereçlerin hassaslıkları da artmaktadır. Dolayısıyla, sineğin uçabileceği farklı alternatif konumların ya da hızların çeşitliliği de gereçlerin hassaslıkları ölçüsünde daha ince ayrıntılarla tanımlanabilir. Burada, kuantum kuramının bazı temel bilgilerine başvurmam gerekecek. Kuantum mekaniğine göre, bazı ölçümlerin ne kadar hassas yapılabileceğinin temel bir sınırı vardır ve teknoloji ne kadar gelişirse gelişsin bu sınır asla aşılamaz. Söz konusu sınır kuantum mekaniğinin temel bir ilkesinden kaynaklanmaktadır; *belirsizlik ilkesi.*

Belirsizlik ilkesine göre, hangi gereçleri ya da teknikleri kullanırsanız kullanın, bir nesnenin ölçümünde belli bir özelliğe ait ölçme çözünürlüğünü arttırırsanız, kaçınılmaz bir bedeli olacaktır: Onu tamamlayıcı başka bir özelliğin ölçümündeki doğruluk payını ister istemez azaltırsınız. Belirsizlik ilkesine göre, bir nesnenin bulunduğu yeri ne kadar ince ayrımlarla ölçerseniz, o nesnenin hızını kesin olarak ölçme şansınız o kadar azalır ya da tersi olur.

Buna, dünyadaki süreçlerin nasıl işlediğine dair içgüdümüze büyük ölçüde temel olan klasik fiziğin bakış açısından bakarsak, böylesi bir sınırlama söz konusu değildir. Şöyle bir benzetme yapabiliriz: Şu bizim muzip sineğin fotoğrafını çekmek isteyelim. Objektifinizin hızı yüksekse, resmi çektiğiniz anda sineğin konumunu çok iyi yakalarsınız. Ancak bu fotoğraf keskin bir görüntüye sahip olacağı için, sinek hareketsiz gözükecektir; dolayısıyla fotoğraftan sineğin uçuş hızını anlayamazsınız. Objektifinizin hızını azaltırsanız, çektiğiniz bulanık görüntü sineğin hareketi hakkında biraz fikir verebilir. Ne var ki fotoğrafın bulanık olması nedeniyle bu kez de sineğin konumu konusunda kesin bir şey söylemek zorlaşır. Aynı anda hem bulunulan konum hem de hızla ilgili kesin fikir verebilecek bir resim çekemezsiniz.

Kuantum mekaniğinin matematiğini kullanan Werner Heisenberg, konum ve hız ölçümlerinin bir arada yapılması durumunda elde edilecek sonuçların kesinlikten ne ölçüde uzak kalacağına ilişkin net bir sınır getirmiştir. Kaçınılmaz biçimde ortaya çıkan bu ke-

sin olamama durumu, kuantum fizikçilerinin belirsizlik terimiyle anlatmak istedikleri konudur. Amacımız açısından, Heisenberg'in elde ettiği sonuçları şöyle açıklayalım. Daha keskin görüntülü bir fotoğraf nasıl yüksek hızlı bir objektif kullanmanızı gerektiriyorsa Heisenberg'in matematiği de bize belli bir nesnenin konumuyla ilgili hassas ölçümler için daha yüksek enerjili bir gereç kullanmamız gerektiğini söylemektedir. Yatağınızın başucu lambasını açın ve elde ettiğiniz ışık –ortamın bütününe yayılan düşük enerjili ışık– sineğin ayaklarının ve gözlerinin genel biçimini görmenizi sağlayacaktır. Sineğe x-ışınları gibi daha yüksek foton enerjisi ile bakın (sineği yakmamak için foton akışını kısa tutarak), o zaman daha iyi bir çözünürlükle sineğin kanatlarını hareket ettirmesini sağlayan minicik kasları da görürsünüz. Ancak Heisenberg'e göre, mükemmellik düzeyinde bir çözünürlüğe ulaşabilmek sonsuz bir enerji gerektirmektedir. Bu da mümkün değildir.

O halde, gelinen sonuç şudur: Klasik fizik, pratikte mükemmel çözünürlüğün mümkün olamayacağını söylüyor. Kuantum fiziği daha ileri giderek ilkesel olarak bile mükemmel çözünürlüğün elde edilemeyeceğini belirtiyor. Sinek olsun, elektron olsun, eğer bir nesnenin hem hızının hem de konumunun son derece ince ayarlarda değiştiğini düşünüyorsanız, kuantum mekaniğine göre anlamsız bir şey düşünüyorsunuz demektir. Ölçülemeyecek kadar küçük değişiklikler, ilkesel olarak bile, aslında değişiklik değildir.[13]

Sinekle ilgili olarak kuantumdan bağımsız yürüttüğümüz benzer fikirlerde, ölçümlerde hassaslık sınırının bir nesnenin konumu ve hızıyla ilgili olasılıkları sonsuz olasılıklardan sonlu olasılıklara doğru azalttığını görmüştük. Kuantum mekaniğinin gerektirdiği ölçümlerin çözünürlüğünün sınırlı olması durumu fizik yasalarının özünde bulunmaktadır; dolayısıyla, olasılıkların sonlu olması kaçınılmaz ve tartışma götürmez bir gerçektir.

Kozmik Tekrar

Yatak odalarındaki sineklerden yeterince bahsettik. Şimdi ise uzayda daha geniş bir alana gidelim. Günümüzdeki kozmik ufuk

ölçüsünde, yani yarıçapı 41 milyar ışık yılı olan bir küresel alan düşünün. Kapitone kozmik örtünün tek bir yaması büyüklüğünde bir alan. Şimdi bu alanı öyle tek bir sinekle değil, madde ve ışınım (radyasyon) parçacıkları ile doldurun. İşte soru: Bu parçacıkların kaç farklı dizilişi mümkündür?

Tıpkı Lego kutusundan çıkacak parçalarda olduğu gibi, ne kadar çok parçanız varsa –alana ne kadar çok madde ve ışınım doldurursanız– olası düzenlemelerin sayısı o kadar artacaktır. Ancak sonsuz miktarda parçayı dolduramazsınız. Parçacıklar enerji yüklüdür, bu nedenle, ne kadar çok parçacık varsa o kadar çok enerji yüklenir. Uzayın bir alanında çok fazla enerji varsa, kendi ağırlığı altında kalacak ve bir kara delik oluşacaktır.* Kara delik oluştuktan sonra, siz o alana daha fazla madde ve enerji doldurmaya kalkarsanız, kara deliğin sınırı (*olay ufku*) genişleyecek, kara delik böylece daha fazla yer kaplayacaktır. Dolayısıyla, uzayın belli bir alanında en fazla ne kadar madde ve enerji bulunabileceğinin bir sınırı vardır. Günümüzün kozmik ufku büyüklüğündeki bir uzay alanı için bu sınır oldukça büyüktür (yaklaşık 10^{56} gram). Ancak sınırın ölçüsü önemli değildir. Önemli olan sınırın varlığıdır.

Kozmik bir ufukta bulunan sonlu miktardaki enerji, kozmik ufkun elektron, proton, nötron, nötrino, müon, foton ya da başka türden bilinen ya da henüz bilinmeyen bir parçacık türü olsun, sonlu sayıda parçacığı içinde bulundurduğu anlamına gelir. Kozmik ufuk içindeki sınırlı enerji, bu parçacıkların her biri için –tıpkı yatak odanızda canınızı sıkan sinekte olduğu gibi– sonlu sayıda konum ve hız olasılıkları bulunmasını gerektirir. Her biri sonlu sayıda birçok özel konum ve hız potansiyeline sahip sonlu sayıdaki parçacıkların tümü, herhangi bir kozmik ufuk içinde sadece sonlu sayıda farklı diziliş olasılığına sahiptir. (Kuantum kuramının daha gelişkin diliyle konuşacağımız VIII.

* Daha sonraki bölümlerde kara delikleri ayrıntılı olarak anlatacağım. Burada sadece popüler kültürde bir uzaysal alan olarak daha bilindik gelen kavrama bağlı kalacağız. Bu alanı uzayda çekim alanı son derece güçlü olan ve hiçbir şeyin bu çekimden kurtulamayacağı bir top gibi düşünün. Kara deliğin kütlesi ne kadar büyükse, boyutu da o kadar büyük olacaktır. İçine herhangi bir şey düştüğünde, kara deliğin yalnızca kütlesi değil, büyüklüğü de artacaktır.

Bölüm'de parçacıkların konumu ya da hızından çok, bu parçacıkların *kuantum durumu* üzerinde duracağız. Bu açıdan bakıldığında, kozmik örtünün yamasında yer alan parçacıkların yalnızca sınırlı sayıda gözlenebilir, birbirinden farklı kuantum durumları söz konusudur.) Gerçekten de basit bir hesaplama ile – ayrıntılarına ilgi duyuyorsanız notlarda anlatılmaktadır– kozmik bir ufuktaki olası parçacık dizilişlerinin sayısı yaklaşık $10^{10^{122}}$dir (1'den sonra 10^{122} sıfırla devam eden bir değer). Bu gerçekten devasa bir sayı olsa da sonuçta sonlu bir sayıdır.[14]

Yeterince sık sayıda sokağa çıkıldığında, sınırlı sayıdaki farklı giysi kombinasyonlarının İmelda'nın aynı dış görünüşünde yine de bir tekrar yaratacağını görmüştük. Aynı biçimde, yeter sayıda iskambil desteleri olduğunda, Randy kartları ne kadar karıştırırsa karıştırsın, yine de sınırlı sayıda farklı kart dizilişi olacağından söz etmiştik. Aynı mantığa dayanarak, sınırlı sayıdaki parçacık dizilişleri, kozmik örtüdeki yeterli sayıda yama –yeter sayıda bağımsız kozmik ufuklar– ile *bir yamadan ötekine, parçacık dizilişlerinin bir yerde mutlaka tekrarlamaya başlamasını* sağlayacaktır. Bir kozmik tasarımcı olsanız ve yamaları değişik biçimlerde bir araya getirerek değişik dizilişler elde etmeye uğraşsanız bile sonunda yepyeni bir tasarımın artık mümkün olamadığı bir noktaya gelip mutlaka daha önce denediğiniz bir tasarımla devam etmek zorunda kalacaktınız.

Sonsuz genişlikteki evrende de bu tekrar olasılığı son derece yüksektir. Uzayın sonsuz genişliği içinde sonsuz sayıda yama vardır. Sayısal olarak yine de bir sınırı olan yamaların dizilişi ile bu yamaların içindeki parçacıkların dizilişleri de sonsuz kere katlanacaktır.

Ulaşmaya çalıştığımız sonuç işte budur.

Varsa Yoksa Fizik

Böyle bir ifade kullanmamın ardındaki duruşu açıklamam gerekir. Ben herhangi bir fiziksel sistemin tamamen parçacıklarının düzenlenişine göre belirlendiğine inanıyorum. Dünyayı, güneşi, gökadayı ve diğer her şeyi oluşturan parçacıkların nasıl di-

zildiğini söylerseniz, gerçekliği de belirtmiş olursunuz. Fizikçiler arasında bu indirgeyici görüş oldukça yaygındır, ancak farklı düşünenler de kuşkusuz bulunmaktadır. Konu özellikle yaşam olunca, bazıları fiziksel varlığın mevcudiyeti için fiziksel olmayan birtakım şeylerin (ruh, yaşam gücü, chi ve benzeri) olması gerektiğine inanırlar. Ben her ne kadar bu olasılığa açıksam da destekleyici herhangi bir kanıta rastlamadığımı belirteyim. Bana en mantıklı gelen şudur: fiziksel ve zihinsel özellikler bir insanın vücudundaki parçacıkların düzenlenişinin göstergesinden başka bir şey değildir. Parçacık düzenlenişini açıklarsanız, her şeyi açıklamış olursunuz.[15]

Bu bakış açısıyla devam edersek, bildiğimiz bir parçacık düzenlenişi bir başka kozmik yamada –başka bir kozmik ufukta– kopyalanırsa, o kozmik yama da her açıdan bizimkinin aynısı olacaktır. Bu demektir ki evren boyutları itibarıyla sonsuzsa, bu gerçeklik yaklaşımına nasıl bir tepki gösteriyorsanız gösterin, yalnız değilsiniz. Kozmosta aynı sizin gibi hisseden pek çok kusursuz kopyalarınız bulunmakta. Hangisinin *gerçek* siz olduğunuz söyleyebilmenin de bir yolu yok. Tüm kopyalarınız fiziksel ve zihinsel olarak özdeştir.

En yakın kopyanıza olan uzaklığı da tahmin edebiliriz. Eğer parçacık düzenlenişleri yamadan yamaya gelişigüzel bir dağılım gösteriyorsa (bir sonraki bölümde ele alacağımız daha ayrıntılı bir kozmoloji kuramı ile uyumlu olarak), o zaman kendi yamamız içindeki koşullar da diğerlerinde olduğu gibi aynı biçimde kopyalanmış olacaktır. Her bir $10^{10^{122}}$ kozmik yamalık bir derlemede, ortalama olarak, bizimkine tamamen benzeyen bir yama olacağını bekleyebiliriz. Diğer bir deyişle, uzayın $10^{10^{122}}$ metre ötedeki her bir bölgesinde bizimkini tekrarlayan bir kozmik yama olması gerekir –sizi, dünyayı, gökadayı ve kozmik ufkumuzda bulunan her şeyi tekrarlayan bir kozmik yama.

Sınırları biraz daraltıp tüm kozmik ufkumuzun bire bir kopyasını aramaz ve güneşimizin merkezinden birkaç ışık yılı yarıçap uzaklığında bir alanın kopyasını düşünürsek hesap daha kolaylaşır: O zaman ortalama $10^{10^{100}}$ metre genişlikteki her alan-

da, böyle bir alana benzeyen bir kozmik yama kopyası bulmanız gerekir. Kozmik yamaların neredeyse aynı olanlarını bulmak daha kolay olacaktır. Bir bölgenin bire bir kopyasının oluşması için tek bir yol vardır; ancak birbirinin *neredeyse* aynısı kopyaların oluşması için pek çok yol vardır. Bu az çok benzeyen kopyalara gitme imkânınız olsaydı, bir kısmında bizim evrenimizde bulunanlardan çok az farklı olan şeylerle karşılaşır, ötekilerde ise farklılıkların aşikâr olanlardan neşelendirenlere, çok şaşırtıcı olanlara kadar uzanabildiğini görürdünüz. Şimdiye kadar verdiğiniz her karar, aslında, parçacıkların belli bir biçimde düzenlenişine bağlıdır. Eğer sola döndüyseniz, parçacıklarınız belli bir yöne, sağa döndüyseniz tersi yöne dizilecektir. Beyninizdeki, dudaklarınızdaki ve ses tellerinizdeki parçacıklar "evet" dediğinizde belli bir örüntü, "hayır" dediğinizde başka bir örüntü oluştururlar. Böylece, olası her bir eyleminiz, yaptığınız her seçim ve elediğiniz her seçenek bu ya da başka bir kozmik yamada gerçekleşecektir. Bazılarında kendinize, ailenize ve dünyadaki yaşamınıza ait korkularınız, diğerlerinde en uç hayalleriniz gerçekleşebilir. Diğer başka bir kozmik yamada birbirine yakın ama farklı parçacıkların özel düzenlenişleri ile alışılmadık bir ortam oluşmuş olabilir. Çoğu yamada da canlı organizmalar olarak bildiğimiz yüksek derecede özel düzenlenişler bulunmayabilir; bu yamalarda canlılık yoktur ya da en azından bizim anladığımız anlamda yaşam izi bulunmaz.

Zaman içinde, Şekil 2.1b'de gösterilen kozmik yamaların boyutlarında artış olacak; daha uzun bir zaman geçince, ışık daha ötelere yolculuk edebilecek ve her bir kozmik ufuk daha da genişleyecektir. Sonuçta, kozmik evrenler birbirleriyle örtüşmeye başlayacaktır. Böyle olunca da kozmik alanlar artık ayrı ve bağımsız alanlar olmaktan çıkacak ve birbirleriyle bütünleşeceklerdir; paralel evrenler de paralel olmaktan çıkacak ve onlar da birleşeceklerdir. Yine de bulduğumuz sonuç aynı kalacaktır. Her birinin boyu büyük patlamadan şu ana kadar ışığın almış olduğu yolun uzaklığı ile ölçülebilecek yeni bir kozmik yamalar dizisi düşünün. Yamalar çok daha büyük olacak ve Şekil 2.1b'de

gösterilen ağı doldurabilmek için her bir yama merkezinin birbirinden daha uzak olması gerekecektir. Ancak elimizin altındaki sonsuz uzayda, böyle ayarlamaları yapmak için yeterince geniş alanlar zaten bulunacaktır.[16]

Şimdi hem genel hem de kışkırtıcı bir sonuca varıyoruz. Sonsuz bir kozmostaki gerçeklik hiç de zannettiğimiz gibi değildir. Uzayın enginliklerinde, zamanın herhangi bir anında, kendi evrenimizle birlikte –Kapitone Çoklu Evren olarak adlandırdığım– sonsuz sayıda ayrı bölge bulunacaktır. Oysa karanlık bir gecede gökyüzüne bakınca gördüklerimiz sadece kendi evrenimize ait olanlardır. Bu sonsuz sayıda farklı bölgeyi incelediğimizde, parçacık düzenlenişlerinde sonsuz kere tekrarlar olacağını görürüz. Bizimki de dahil olmak üzere herhangi bir evrenin kendi gerçekliği kapitone örtü benzeri çoklu evrende sınırsız sayıda başka evrenler biçiminde tekrarlanacaktır. [17]

Tüm Bunlar Ne Anlama Geliyor?

Ulaştığımız sonucun çok alışılmadık olduğunu düşünüp konuyu tamamen göz ardı etmek isteyebilirsiniz. Vardığımız bu garip sonucun –sizin, herkesin ya da her şeyin kopyalarının bulunmasının– aslında hatalı varsayımların bizi getirdiği nokta olduğunu öne sürebilirsiniz.

Tüm kozmosun parçacıklardan oluştuğu varsayımı yanlış olabilir mi? Belki de bizim kozmik ufkumuzun ötesinde, boşluktan başka hiçbir şeyin bulunmadığı geniş bir alan vardır. Bu mümkün olabilir, ancak böyle bir durumu sağlamak için gerekli olan kuramsal çarpıklıkları düşündüğümüzde böyle bir olasılık ortadan kalkar. Kozmolojinin en gelişkin kuramlarına baktığımızda –ki birazdan bunu yapacağız– böyle bir olasılığın yakınına bile gidemiyoruz.

Kozmik ufkumuzun ötesindeki alanlarda fiziğin temel yasaları geçerliğini yitiriyor ve bu uzak bölgeler üzerine yapılabilecek kuramsal çözümlemeler de anlamsız kalıyor olabilir mi? Bu da mümkündür. Ancak bir sonraki bölümde göreceğimiz gibi, son gelişmelerin getirdiği savlar, fizik yasalarının şu ya da bu bi-

çimde farklılıklar göstermesi durumunda bile Kapitone Çoklu Evren konusunda vardığımız sonuçların geçersiz olamayacağını destekliyor.

Evrenin uzamsal boyutu sonlu olabilir mi? Elbette olabilir. Kuşkusuz mümkündür. Eğer uzay son derece geniş ama sonlu olsaydı, yine de uzaklarda bir yerlerde çok ilginç yamalar bulunabilirdi. Ne var ki böylesi sınırlı bir evrende, bırakın kendi evrenimizin kopyalarını, birbirlerinden ayrı ve geniş alanlara yayılmış önemli sayıda yamaların yer aldığı sonsuzluklar olmayacaktı. Sonlu bir evren düşüncesi kapitone örtü benzeri çoklu evren olasılığını tamamen ortadan kaldırmak için en ikna edici yoldur.

Ancak geçtiğimiz yirmi otuz yılda, Lemaître'in ilk atomunun ortaya çıkışını ve özelliklerini daha derinlikli bir şekilde kavramaya çalışan ve büyük patlama kuramında sıfır noktasına inmeye uğraşan fizikçiler, *şişme kozmolojisi* diye adlandırdıkları bir yaklaşım geliştirdiler. Bu yaklaşımda, sonsuz genişlikteki bir evren düşüncesi, yalnızca güçlü gözlemsel ve kuramsal bilgilerle değil, bir sonraki bölümde ele alacağımız gibi, kaçınılmaz bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır.

Dahası, şişme kuramının getirdiği yaklaşım, paralel dünyalar üzerine çok daha ilginç başka düşünceleri de gündeme getirmektedir.

III. Bölüm

Sonsuzluk ve Sınırsızlık

Şişme Evreli Çoklu Evren

1900'lü yılların ortalarında öncü bir grup fizikçi şunu fark etti: Güneşi karartıp Samanyolu'ndan diğer yıldızları da çıkartacak ve en uzak gökadaları bile silecek olursanız, uzay karanlık olmayacaktır. Bu durumda, insan gözüne uzay karanlık gözükecektir, ama spektrumun mikrodalga boyutundaki ışınımını görebilseydiniz, nereye dönerseniz dönün her yerde aynı olan bir parıltı görürdünüz. Bunun kaynağı ne idi? Her şey başlangıçta gizliydi. Şaşırtıcı bir şekilde bu fizikçiler, evrenin yaratılışından başlayıp günümüze kadar süregelen ve her tarafa yayılarak uzayı dolduran bir mikrodalga ışınımı denizi bulunduğunu keşfettiler. Bu keşif büyük patlama kuramının en büyük başarısıydı, ancak zaman içinde kuramın en büyük eksikliğini de ortaya çıkardı ve böylece kozmolojide Friedmann ve Lemaître'in öncü çalışmalarından sonraki en büyük başarılardan birine imza atıldı: *şişme kuramı.*

Şişme kuramına dayanan kozmoloji, evrenin ilk anlarına ani ve hızlı bir genişleme ekleyerek büyük patlama kuramında değişiklik yapar. Aşağıda göreceğimiz gibi bu değişiklik, kalıntı ışınımın aksi takdirde anlaşılması zor olan niteliklerinin açıklanmasında büyük öneme sahiptir. Daha da önemlisi, şişme kozmolojisi kitabımızın en önemli bölümlerinden biridir, çünkü geçtiğimiz yirmi otuz yıl içinde bilim insanları kuramın en ikna edici versiyonlarının çok çeşitli paralel evrenlere işaret ettiğini ve gerçekliğin mahiyetini köklü biçimde değiştirdiğini gördüler.

Yüksek Sıcaklıkta Bir Başlangıcın Kalıntıları

Yirminci yüzyılın başlarında kuantuma ve nükleer fiziğe yaptığı katkılarla tanınan iri yapılı Rus fizikçi George Gamow, pratik zekâlı ve nüktedan olduğu kadar, zorluklar içinde yaşamış biriydi (1932'de karısıyla birlikte Sovyetler Birliği'nden kaçmak için tıka basa çikolata ve kanyak dolu bir kayıkla Karadeniz'e açılmıştı. Kötü hava her ikisini de kıyıya sürükleyince, Gamow yetkililere bir öykü uydurup denizde yaptığı bilimsel deneylerin ne yazık ki başarısızlıkla sonuçlandığını söylemişti.). 1940'lı yıllarda demir perdeyi geçmeyi başarıp (bu kez karadan ve çok daha az çikolatayla) St. Louis'deki Washington Üniversitesi'nde çalışmaya başlayınca, Gamow kendini kozmolojiye verdi. Son derece yetenekli lisansüstü öğrencisi Ralph Alpher'in asistanlığı ile Gamow'un araştırmaları, evrenin ilk anlarına yönelik olarak Friedmann'ın (Leningrad'da Gamow'un hocası olmuştu.) ve Lemaître'in daha önceki çalışmaları ile ortaya atılanlardan çok daha açıklayıcı ve ayrıntılı bilgiler ortaya koydu. Kimi güncel bilgileri de ekleyerek Gamow ve Alpher'in elde ettikleri bilgileri şöyle özetleyebiliriz:

Büyük patlamayla doğumundan hemen sonra, çok yüksek sıcaklık ve yoğunluktaki evren bir dizi çılgın süreçten geçmeye başladı. Uzay, parçacıkların ilkel bir plazmadan katılaşarak oluşmasına izin verecek şekilde hızla genleşti ve soğudu. İlk üç dakikadan sonra hızla düşmeye başlayan sıcaklık yine de yeterince yüksek bir sıcaklık derecesinde kalıp evreni kozmik bir fı-

rın haline getirirken şu atomik çekirdekleri de sentezledi: hidrojen, helyum ve eser miktarlarda lityum. Fakat birkaç dakika sonra, sıcaklık yaklaşık 10^8 Kelvin (K) derecesine, diğer bir deyişle, güneşin yüzey sıcaklığının yaklaşık 10.000 katına kadar düştü. Her ne kadar şimdiki standartlara göre inanılmaz yüksek bir sıcaklık olsa da bu sıcaklık daha başka nükleer süreçlerin gerçekleşebilmesi için oldukça düşük bir sıcaklıktı. Bu andan sonra parçacık süreçleri önemli ölçüde azaldı. Takip eden çok uzun dönemler boyunca, uzayın genişlemesi ve parçacık banyosunun soğumaya devam etmesi dışında pek bir şey olmadı.

Sonra, yaklaşık 370.000 yıl sonra, evren, güneşin yüzey sıcaklığının yarısı kadar olan 3000 K derecesine kadar soğuyunca, uzun zamandır süregelmiş tekdüze kozmik yapı birtakım beklenmedik önemli olaylardan etkilenmeye başladı. O zamana gelinceye kadar, uzay daha çok proton ve elektronlardan oluşan elektrik yükü taşıyan parçacıklar plazması ile dolmuştu. Elektrikle yüklü parçacıklar, fotonları –ışın parçacıklarını– itip kakma becerisine sahip oldukları için, ilkel plazma şeffaf gözükmeyecekti; sürekli olarak elektronlar ve protonlar tarafından savrulan fotonlar, tıpkı bir arabanın uzun huzmeli farından çıkan ışığın siste gözüktüğü gibi, dağınık bir ışıltı oluşturdular. Fakat sıcaklık 3000 K'nin altına düşünce, daha önce son derece hızla hareket eden elektronların ve atomik çekirdeklerin hızı azaldı; bu elektronlar ve atomik çekirdekler atomları oluşturacak biçimde bütünleştiler; diğer bir ifadeyle elektronlar atomik çekirdekler tarafından tutularak bir yörüngeye oturtuldu. Bu çok önemli bir değişimdi. Protonlar ve elektronlar eşit ama zıt elektrikle yüklü olduklarından, bunların atomik bütünleşmelerinden ortaya çıkan yapıların elektrik yükleri nötrdü. Tıpkı kızgın bir bıçağın tereyağında kayıvermesi gibi, nötr elektrik yüklü bileşenlerden oluşan bir plazma da fotonların içerisinden kayıp geçivermesine izin verdiği için, atomların oluşması da kozmik sisin dağılmasına ve büyük patlamanın net ve parlak yankısının ortaya çıkmasına neden oldu. İşte o zamandan beri o ilk fotonlar uzayın içinde ilerlemektedir.

Ne var ki önemli bir farkla. Fotonlar artık elektrikle yüklü parçacıklar tarafından ileri geri itilip durmasalar da önemli bir etkinin altındadırlar. Uzay genişledikçe, fotonlar da dahil her şey seyrelmekte ve soğumaktadır. Ancak madde parçacıklarından farklı olarak fotonlar soğuyunca yavaşlamazlar; ışık parçacıkları olarak her zaman ışık hızında hareket ederler. Fotonlar soğuyunca, yavaşlamak yerine, titreşim frekansları düşer, bu da renklerinin değişmesi anlamına gelir. Mor fotonlar maviye, sonra giderek yeşile, sarıya, kırmızıya, daha sonra kızılötesi ışınlara (gece görüş gözlüğü ile görülebilen ışınlar gibi), mikrodalga ışınlara (mikrodalga fırınınızda sekerek yiyeceğinizi ısıtan ışınlar gibi) ve en sonunda da radyo frekanslarına dönüşürler.

Gamow tüm bunları fark edip Alpher ve arkadaşı Robert Herman da büyük bir sebatla konunun üzerinde çalıştıktan sonra ortaya çıkan bilgiler şunu göstermektedir: Eğer büyük patlama kuramı doğruysa, o zaman uzayın her tarafı şu an *yaratılış olayından kalan fotonlarla* dolu olmalıdır. Titreşim frekansları meydana geldikleri o ilk andan bu yana geçen milyarlarca yıl süresince evrenin ne ölçüde genişlemiş ve soğumuş olduğuna bağlı olarak belirlenebilen bu fotonlar her tarafa doğru ilerlemelidir. Ayrıntılı matematiksel hesaplamalar, fotonların frekanslarının spektrumun mikrodalga parçasına gelecek biçimde mutlak sıfır derecesine yakın bir değere kadar soğumuş olmaları gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle, bu fotonlar *kozmik mikrodalga fon ışınımı* olarak adlandırılırlar.

Yakın zamanlarda, Gamow, Alpher ve Herman'ın 1940'ların sonlarında yazdıkları ve tüm bunları ortaya koydukları ve açıkladıkları makalelerini tekrar okudum. Yazılanlar bence kuramsal fiziğin harikalarıdır. Yapılan teknik çözümlemeler lisans düzeyindeki temel fizik bilgisinin çok ötesine geçmeyi gerektirmese de sonuçlar çok derinliklidir. Yazarlar, evrenin parlak doğumunun kozmik mirası olan bir foton banyosu içine gömülü olduğumuz sonucuna varmışlardır.

Bütün bunları okuduktan sonra, bu makalelerin göz ardı edilmiş olmasına şaşırabilirsiniz. Bunun nedeni büyük olasılıkla ya-

zıların kuantum fiziği ve nükleer fiziğin hüküm sürdüğü bir dönemde yazılmış olmasıdır. O sırada kozmoloji hâlâ kendini nicel bir bilim dalı olarak ispat etme dönemindeydi, bu nedenle fizik çevreleri böylesi marjinal kuramsal çalışmalara pek de sıcak bakmıyordu. Makalelerinin etkisinin zayıf kalması bir dereceye kadar da Gamow'un o hep nüktedan bilinen karakterinden dolayı bazı fizikçilerin kendisini hak ettiği kadar ciddiye almamasından kaynaklandı. (Bir keresinde, Alpher'le birlikte yazdıkları bir makalede yazar adlarını değiştirip daha sonra Nobel ödülü kazanacak olan Hans Bethe'nin de adını ekleyerek Yunan alfabesinin ilk üç harfini hatırlatacak biçimde, makale yazarlarını Alpher, Bethe, Gamow olarak belirtmişti.) Gamow, Alpher ve Herman ne kadar uğraştılarsa da elde ettikleri sonuçlar konusunda bırakın gökbilimcileri evrenin oluşmasından beri süregelen ışınımın saptanması için çaba göstermeye ikna etmeyi, hiç kimsenin ilgisini çekemediler. Yazılan makaleler de çabucak unutuluverdi.

1960'ların başlarında, daha önceki çalışmalardan habersiz olan Princeton Üniversitesi fizikçileri Robert Dicke ve Jim Peebles da benzer bir yol izleyerek büyük patlamanın mirasının uzayı saran yaygın fon ışınımı olması gerektiğini söylediler.[1] Gamow'un ekibindeki kişilerden farklı olarak Dicke tanınmış bir deneysel fizikçiydi, bu nedenle ışınımı gözlemeye çalışmaları için kimseyi ikna etmesine gerek yoktu. Bunu kendisi de yapabilirdi. Öğrencileri David Wilkinson ve Peter Roll ile birlikte büyük patlamadan artakalan fotonları yakalayacak deneysel bir plan tasarladılar. Ancak Princeton'lı araştırmacılar, planlarını gerçekleştirmeye fırsat bulamadan bilim tarihinin belki de en ünlü telefonunu aldılar.

Dicke ve Peebles hesaplamalarla uğraşırken, Arno Penzias ve Robert Wilson adındaki fizikçiler de Princeton'a 50 kilometre uzaklıktaki Bell Laboratuvarları'nda telsiz anteni yapabilmek için uğraşıyorlardı (Tesadüf şu ki bu anten Dicke'in 1940'larda tasarımını yapmış olduğu bir modele dayanıyordu.). Penzias ve Wilson ne kadar ayar yapmaya çalışırlarsa çalışsınlar, arka planda bir türlü sonu gelmeyen bir tıslama sesi sürü-

yordu. Penzias ve Wilson cihazlarında bir bozukluk olduğunu düşünmekteydiler. Ama sonra Dicke ve Peebles'la aralarında tesadüfi bir iletişim zinciri gelişiverdi. Her şey 1965 Şubat'ında Peebles'ın John Hopkins Üniversitesi'nde yaptığı bir konuşmaya Carnegie Enstitüsü'nün radyo dalgalarıyla ilgilenen gökbilimcisi Kenneth Turner'ın gelmesi ve Peebles'ın anlattıklarını MIT'den meslektaşı Bernard Burke'ye iletmesiyle başladı. Burke, Bell Laboratuvarları'nda çalışmakta olan Penzias'la tanışıyordu. Princeton'daki araştırmadan böylece haberdar olan Bell Laboratuvarları'ndaki ekip, antenlerindeki tıslama sesinin aslında boşuna olmadığını fark etti: *Anten, kozmik mikrodalga fon ışınımını yakalamaktaydı.* Penzias ve Wilson, Dicke'i arayınca, Dicke de onların farkında olmadan büyük patlamanın yankıları denilebilecek sesleri yakalamış olduklarını söyledi.

Bu iki ekip anlaşarak makalelerini saygın bilim dergisi *Astrophysical Journal*'da aynı anda yayınlamaya karar verdiler. Princeton ekibi fon ışınımının kozmolojik olarak ortaya çıkışını, Bell ekibi ise hiçbir biçimde kozmolojiye değinmeden ve bu konuda ihtiyatlı bir dil kullanarak, uzaya yayılan homojen mikrodalga ışınımının saptanmasından söz edecekti. Her iki makale de Gamow, Alpher ve Herman'ın daha önceki çalışmalarından söz etmedi. Bu buluşlarından ötürü Penzias ve Wilson 1978 Nobel Fizik Ödülü'nü aldılar.

Gamow, Alpher ve Herman'ın canları çok sıkılmıştı. Takip eden yıllar boyunca çalışmalarını tanıtmak için çok çaba sarf ettiler. Fizik çevreleri onların bu büyük buluştaki rollerini oldukça gecikerek ancak zaman içinde takdir etti.

Antik Fotonların Anlaşılmaz Aynılığı

İlk gözlemlendiği andan başlayarak kozmik mikrodalga fon ışınımı kozmolojik araştırmalarda mihenk taşı oldu. Nedeni çok açık. Pek çok alanda araştırmacılar geçmişe ait güvenilir, kesin bilgiler için neler vermezler ki? Yapabildikleri daha çok geçmişteki koşulları, geride kalan kalıntılara –bozulmuş fosiller, çürüyen parşömen kâğıtları, mumyalanmış kalıntılara– dayanan ve-

rileri kullanarak bir araya getirmektir. Kozmoloji ise tarihi doğrudan gözlemleyebileceğimiz tek alandır. Çıplak gözle görebileceğimiz ufacık yıldızların ışıkları ya birkaç yıldır ya da binlerce yıldır bize doğru yolculuk yapan foton akışıdır. Güçlü teleskoplarla görülebilen çok daha uzak uzay cisimlerinin ışıkları, bize belki de milyarlarca yıl yolculuk edip ulaşmış ışıklardır. Böylesi yaşlı ışıklara baktığımızda –kelimenin tam anlamıyla– eski zamanlara tanıklık etmiş oluruz. Işığın çok eskilerden bize uzanan bu yolculuğu ile orada, ta uzaklarda gerçekleşmiş olanlar, evrenin geniş ölçekte her yerde aynı olmasına dayanarak burada da gerçekleşmiştir diyebiliriz. Gökyüzüne baktığımızda, aslında geçmişe bakarız.

Bu olanaktan faydalanmamızı sağlayan kozmik mikrodalga fotonlarıdır. Bu fotonların çok daha önceki biçimleri o dönemlerdeki sis yoğunluğu tarafından engellenmiş olduğu için, teknoloji ne kadar ilerlerse ilerlesin, bugün uzak geçmişe ait görebileceğimiz en eski ışıklar mikrodalga fotonlardır. Kozmik mikrodalga fon fotonlarını incelediğimiz zaman elde ettiğimiz bilgiler aslında yaklaşık 14 milyar yıl önceki süreçlere yönelik bilgilerdir.

Yapılan hesaplamaların gösterdiğine göre, bugün uzayın her bir metreküplük hacminden yaklaşık 400 milyon kozmik mikrodalga fon fotonu geçmektedir. Gözlerimiz bu fotonları göremese de herhangi bir televizyon cihazı bunları yakalayabilmektedir. Yayın bağlantısı sağlamak için bir televizyon kanalını ayarlamaya çalışırken televizyon ekranında izlediğimiz karlı görüntülerin yaklaşık yüzde biri büyük patlamadan yayılan fotonlardır. Bu gerçekten şaşırtıcı bir düşünce. Bir düşünsenize; radyo dalgaları en sevdiğiniz televizyon dizilerini size taşırken içinde evrenin sadece birkaç yüz bin yıl yaşında olduğu dönemlere ait fosilleri, yani fotonları da sanki uzak geçmişten uzanan bir dizi gibi önünüze seriyor.

Büyük patlama modelinin uzayın mikrodalga fon ışınımı ile dolu olduğuyla ilgili tahmini, modelin bir zaferidir. Üç yüz yıllık bilimsel düşünce ve teknolojik ilerleme süreci boyunca, insanlar ilkel teleskoplarla gözlem yapmaktan ve eğik kulelerden aşa-

ğı top bırakmaktan, evrenin doğuşuyla başlayan fizik yasalarını anlamaya kadar gelmişlerdi. Ancak, son gelinen noktada elde edilen veriler zorluk çıkarmaktadır. Elbette bir televizyon cihazıyla değil ama o zamana kadar elde edilebilmiş en kesin ve hassas sonuçları sağlayan astronomik gereçlerle yapılan ışınım sıcaklığı ölçümleri, ışınımın –esrarengiz bir biçimde– uzayın her yerinde aynı değeri aldığını göstermiştir. Işınım dedektörünüzü nereye koyarsanız koyun, ışınım sıcaklığı mutlak sıfırın üzerinde 2,725 derece olarak ölçülecektir. Bu homojenliğin nereden kaynaklandığı tam bir bilmecedir.

II. Bölüm'de anlattıklarıma (ve dört paragraf önceki yorumlarıma) dayanarak şöyle dediğinizi duyar gibiyim, "Tamam, demek ki kozmolojik prensip böyle bir şey. Bir diğeriyle karşılaştırıldığında uzayda hiçbir bölge farklı değil, o halde sıcaklığın da her yerde aynı olması beklenebilir." Gayet makul. Ancak şunu unutmamak lazım: Kozmolojik prensip, Einstein da dahil olmak üzere, fizikçilerin evrenin özelliklerini matematiksel olarak açıklayabilmek için kullandıkları basite indirgeyici bir varsayımdı. Mikrodalga fon ışınımı tüm uzayda homojen bir nitelik gösterdiği için, kozmolojik prensip adına ikna edici gözlemsel bir kanıt olarak düşünülebilir. Bu nedenle de kozmolojik prensibin öne sürdüğü düşüncelere yönelik güvenimizin artması mümkündür. Ne var ki ışınımın her yerde aynı değeri alması kozmolojik prensip hakkında birtakım soruları da beraberinde getirmektedir. Kozmolojik prensip mantıklı gözükse de gözlemlerle de onaylanan ve kozmos çapındaki bu her yerde aynılığı hangi mekanizma sağlamaktadır?

Işık Hızından Daha Hızlı

Birisiyle tokalaştığımızda, o kişinin elinin ya çok sıcak (fena sayılmaz) ya da buz gibi (kesinlikle itici) olduğunu hissettiğimiz olmuştur. O eli tutmaya devam etseniz, aradaki sıcaklık farkının giderek azaldığını fark edersiniz. Maddeler birbirleriyle temas edince, sıcaklıklar eşitlenene kadar ısı daha sıcak olandan daha soğuk olana doğru geçiş yapar. Bunu çok sık yaşarsınız. Masa-

nızın üzerinde beklettiğiniz sıcak kahvenizin bir süre sonra soğuyup oda sıcaklığına inmesi bundandır.

Şimdi aynı mantığı mikrodalga fon ışınımının her yerde aynı olması için de yürütebiliriz. Tokalaştığınız elde ya da masada beklettiğiniz kahvenizde olduğu gibi, her yerde aynı olma durumu, bir ortamın daha geniş bir sıcaklığa uyumlanması ile ilgili olabilir. Farklı olan, bu sürecin kozmik uzaklıklar arasında gerçekleşmesidir.

Ne var ki büyük patlama kuramında bu açıklama başarıya ulaşamamaktadır.

Ortamların ya da maddelerin ortak bir sıcaklığa ulaşması, her şeyden önce karşılıklı bir temas gerektirir. Bu temas, tokalaşmada olduğu gibi doğrudan olabileceği gibi, birbirinden uzak mekânlarda minimal düzeyde bir bilgi aktarımı yoluyla da gerçekleşebilir. Ortak özellikler ancak böylesi karşılıklı bir etkileşimle sağlanabilir. Örneğin, termoslar bu türden karşılıklı sıcaklık etkileşimlerini önlemek için yapılmıştır. İçindeki sıvı sıcaklığının dışarıdaki ortam sıcaklığına uyum göstermesini önleyerek o sıvının sıcaklığını korumak için.

Bu basit gözlem, kozmik sıcaklığın her yerde aynı değeri almasını açıklama konusunda yardımcı olabilir. Uzayda birbirlerinden çok uzak olan alanlar, söz gelimi sağınıza düşen çok uzaktaki bir nokta ile –öyle uzakta ki saçtığı ilk ışık size daha yeni ulaşıyor– solunuzda yine çok uzaktaki benzer bir nokta henüz hiç etkileşimde bulunmamıştır. Siz bu iki taraftan gelen ışıkları görebilseniz de bir yanınızdan gelen ışığın diğer yanınızdan gelen ışığın kaynağına ulaşabilmesi için alması gereken daha çok uzun bir yol var. Diğer bir deyişle, bu çok uzak iki alanda iki gözlemci oturmuş olsa, birbirlerini henüz görebilme şansına sahip değiller. Ancak, hiçbir şeyin hızı ışığın hızından daha yüksek olamayacağı için, bu gözlemciler henüz bir şekilde etkileşmiş olamazlar. Bir önceki bölümdeki dili kullanırsak, bu gözlemciler birbirlerinin kozmik ufkunun ötesinde bulunmaktadırlar.

Bu tanımlama sis perdesini aralamaktadır. Eğer sözü edilen bu çok uzak alanlarda birileri yaşasa ve birbirleriyle aynı dili ko-

nuşsalar, kütüphanelerinde de aynı kitaplar bulunsa, herhalde "hadi canım, nasıl olur?" derdiniz. Eğer aralarında hiçbir temas söz konusu olamıyorsa, böylesi ortak bir köken nasıl mümkün olur? Şimdi size, aralarında hiçbir temas olmadığı halde, birbirlerinden çok uzaktaki bu iki alanda, hata payı virgülden sonraki dördüncü basamakla ifade edilen bir değerde eşit sıcaklık bulunmaktadır desem, eminim aynı biçimde şaşırırdınız.

Yıllar önce bu bilinmezliğin farkına vardığımda hayretler içinde kalmıştım. Daha sonra da bu bilinmezliğin kendisi beni başka bilinmezliklere sürükledi. Bir zamanlar çok yakın olan maddeler –büyük patlama esnasında her şeyin birbirine çok yakın olduğunu düşünerek– birbirlerinden nasıl bu kadar uzaklaşabilmişlerdi ki yaydıkları ışıklar bile henüz buluşamıyordu? Işık, kozmik hız sınırını belirliyorsa, maddeler bu ışık hızının bile kapatamayacağı uzamsal bir uzaklığa nasıl gelmişlerdi?

Böylesi bir sorunun yanıtı, temelde gerektiği kadar vurgulanmamış olan bir noktayı gözler önüne sermektedir. Işık hızı olarak tanımlanan hız, yalnızca cisimlerin *uzay içindeki* hareketleri için söz konusudur. Ne var ki gökadaların birbirlerinden uzaklaşmaları uzay içinde yol aldıkları anlamını taşımaz –elbette gökadaların jet motorları yoktur. Bu uzaklaşma, uzayın şişmesi ve gökadaların bununla beraber sürüklenmeleri ile ortaya çıkmaktadır.[2] Aynı zamanda, görelilik, uzayın genişlemesinin hızı ile ilgili hiçbir sınırlandırma getirmez, bu nedenle çekilen gökadaların birbirlerinden uzaklaşma hızlarında da ışık hızından söz edilemez. Herhangi iki gökada arasındaki uzaklaşma hızı, ışık hızı dahil, herhangi bir hız birimini aşabilir.

Gerçekten de genel görelilik matematiği, evrenin ilk anlarında uzayın inanılmaz bir hızla şişmiş olabileceğini ve bunun sonucunda alanların birbirlerinden ışık hızından bile hızlı biçimde uzaklaşmış olabileceklerini belirtmektedir. Dolayısıyla, bu alanlar birbirileri üzerinde bir etki yaratma fırsatı bulamamış olabilirler. Birbirlerinden bağımsız kozmik alanlarda nasıl olup da neredeyse eşit sıcaklık derecelerinin bulunduğunu açıklamak zordur. Kozmologlar bu bilinmezliği *ufuk problemi* olarak adlandırmışlardır.

Genişleyen Ufuklar

1979'da, Alan Guth (O sıralar Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi'nde çalışmaktaydı.) ufuk problemine çözüm üretecek bir fikir ortaya attı. Bu fikir daha sonra Andrei Linde (O dönemde Moskova Lebedev Fizik Enstitüsü'nde araştırma yapıyordu.), Paul Steinhardt ve Andreas Albrecht (o sıralar Pennsylvania Üniversitesi'nde çalışan profesör-öğrenci ikilisi) tarafından geliştirildi. Bu çözüm, Einstein'ın genel görelilik kuramının biraz sonra açıklayacağım bazı önemli ama hemen göze çarpmayan özelliklerine dayanan *şişme kozmolojisiy*di. Burada bu fikrin genel bir özetini vermek yararlı olacaktır.

Ufuk problemi, uzaydaki bölgeler eşit sıcaklığın sağlanmasına imkân tanımayacak biçimde hızla birbirlerinden uzaklaşmış olduğundan, standart büyük patlama kuramı açısından çözüm getirilmesi gereken bir konudur. Şişme kuramı, bu problemin çözümüne yönelik olarak, gökadaların birbirlerinden uzaklaşma hızlarının ilk başlarda oldukça düşük olabileceğini, dolayısıyla aynı sıcaklığa gelmeleri için yeterli bir zamanın geçtiğini öne sürmektedir. Kuram, bu "kozmik el sıkışmaların" tamamlanmasından sonra, başlangıçtaki yavaşlığı telafi edecek biçimde kısa bir patlamayla son derece hızlı bir genişlemenin *–şişme evreli genişleme–* başladığını ve alanları birbirlerinden çabucak çok uzak noktalara sürüklemiş olabileceğini belirtmektedir. Gözlemlediğimiz her yerde aynı olan koşullarsa artık anlaşılmaz olmaktan çıkmaktadır, çünkü söz konusu bu ortak sıcaklık, alanlar birbirlerinden uzaklaşmadan çok önce zaten sağlanmıştır.[3] Şişme evreli evren modelinin esası kabaca budur.*

Ancak unutulmamalıdır ki fizikçiler evrenin nasıl genişlediğine ilişkin herhangi bir bilgi dikte etmezler. Gözlemlerimize dayanarak söylememiz gerekirse, bunu ifade eden Einstein'ın genel görelilik denklemleridir. Bu nedenle, şişme evreli kuramın geçerliliği, standart büyük patlama sonrası evrenin genişleme-

* Eşdeğer bir biçimde, uzayın çabucak ivmelenerek genişlemesi, bugünkü uzak bölgelerin evrenin ilk dönemlerinde birbirlerine standart büyük patlama kuramında ifade edildiğinden çok daha yakın olabilecekleri anlamına gelmektedir. Bu nedenle, şişme evresindeki patlama onları uzaklaştırmadan önce ortak bir sıcaklık sağlanmış olabilir.

sine ilişkin ortaya attığı yeni savların Einstein'ın matematiği ile uyumlu olup olmamasına bağlıdır. Doğrusu, ilk bakışta bu pek de bariz gözükmemektedir.

Örneğin, Newton yaşıyor olsa ve ona genel görelilik hakkında beş dakikalık kısa bilgiler verip yamulmuş uzay ve genişleyen evren konusunu açıklasanız, daha sonra da şişme kuramından söz etseniz, Newton'un anlattığınız bu son fikrin bir saçmalık olduğunu düşüneceğinden bir hayli eminim. Newton, süslü matematiği ya da yeni Einstein dilini bir tarafa atıp kütleçekiminin hâlâ çekici bir güç olduğunda ısrar ederdi. Kütleçekiminin herhangi bir kozmik dağılımı engelleyerek bütün maddeleri bir araya çektiğini söylerdi. Öyle yavaş yavaş başlayıp sonra birdenbire hızlanan bir evren genişlemesi açıklaması belki ufuk problemini çözüyor gibi gözükebilir ama bu tür bir açıklama aslında tam bir masaldır. Newton, kütleçekimi yasasıyla açıklanabildiği üzere, fırlatılan bir beyzbol topunun en yüksek noktaya çıkarken hızını kaybetmeye başlaması gibi, kozmik genişlemenin de bir müddet sonra yavaşlayacağını belirtirdi. Eğer genişleme giderek sıfıra inip süreç kozmik bir daralmaya dönüşecekse, tabii ki evrende zaman içinde hızlanan içe doğru bir çökme söz konusu olacaktır. Aynen beyzbol topunun aşağıya doğru süzülürken hızının artması gibi. Ancak evrenin dışa doğru genişlemesinin hızı artamaz. Newton bunları söylerdi.

Bu açıklamalarıyla Newton hataya düşerdi ama hoş görülebilirdi. Zira yanılgıya düşmesinin nedeni, sizin genel görelilikle ilgili ona yaptığınız üstünkörü açıklamalar olurdu. Beni yanlış anlamayın. Beş dakikada bilgi vermeye çalışırken (zaten bir dakikası beyzbol topuna giderdi), özellikle kütleçekiminin nedeni olarak eğri uzay-zamana yoğunlaşırdınız. Newton, kütleçekimine yol açan bilinen bir işleyiş olmadığını vurgulamıştı ve bunun da kuramında önemli bir boşluk yarattığının farkındaydı. Siz de doğal olarak, kalkıp Newton'a Einstein'ın açıklamalarından bahsederdiniz. Ancak Einstein'ın kütleçekimi kuramı Newton fiziğindeki boşlukları kapatmaktan daha fazlasını başarmıştı. Genel görelilik kuramındaki kütleçekimi, Newton fiziğindeki

kütleçekiminden çok farklıdır ve şu anda belirtilmesi önem taşıyan bir yanı vardır.

Newton'un kuramında, kütleçekimi tamamen bir nesnenin kütlesi nedeniyle oluşmaktadır. Maddenin kütlesi ne kadar büyükse, kütleçekimi de o kadar fazladır. Einstein'ın kuramında ise kütleçekimine neden olan nesnenin yalnızca kütlesi (ve enerjisi) değil, aynı zamanda basıncıdır. Kapalı bir patates cipsi paketini tartın. Sonra paketi ezip, bu kez içindeki havanın daha fazla basınç altına girdiği durumda tekrar tartın. Newton'a kalırsa, paketin ağırlığında bir değişiklik olmayacaktır, çünkü kütlesinde bir değişiklik olmamıştır. Einstein ise, sıkıştırılmış paketin ağırlığında az da olsa bir artış olacağını belirtecektir, çünkü kütle aynı bile kalsa, basınçta değişiklik olmuştur.[4] Gündelik yaşam içinde bunun pek farkına varmayız, çünkü ortaya çıkan fark dikkati çekmeyecek kadar azdır. Yine de gerek genel görelilik kuramı gerek yapılan deneyler basıncın kütleçekimi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Newton'un kuramıyla kıyaslandığında ortaya konulan farklılık son derece önemlidir. İster patates cipsi paketinin içindeki, ister şişirilmiş bir balonun içindeki, isterse de şu an bulunduğunuz odanın içindeki hava olsun, hava basıncı pozitiftir, diğer bir deyişle, hava dışa doğru itilir. Genel görelilikte, pozitif basınç, tıpkı pozitif kütle gibi, kütleçekimine pozitif etki yapar ve ağırlığın artmasına neden olur. Kütle hep pozitif olsa bile basıncın negatif olabildiği durumlar vardır. Gerdirilmiş lastik bir bant düşünün. Lastik bandın gerilen molekülleri dışa doğru itmek yerine, içe doğru çekecektir. Bunu fizikçiler *negatif basınç* (ya da *gerilme*) olarak adlandırırlar. İşte genel göreliliğe göre, pozitif basınç kütleçekimine neden olurken, negatif basınç da tam tersine, itici kütleçekimine neden olmaktadır.

İtici kütleçekimi mi?

Böyle bir ifade herhalde Newton'un aklını başından almaya yeterdi. Ona göre, kütleçekimi çekerdi, itmezdi. Ama aklınız başınızda kalsın: Siz genel göreliliğin kütleçekimiyle ilgili açıkla-

malarında bunu zaten gördünüz. Bir önceki bölümde anlattığımız Einstein'ın kozmolojik sabitini hatırlıyor musunuz? O bölümde, uzayı homojen bir enerji ile doldurursanız, kozmolojik sabitin itici kütleçekimi oluşturacağını söylemiştim. Ancak orada nedenini açıklamamıştım. Şimdi açıklayabilirim. Bir kozmolojik sabit yalnızca uzayın dokusuna bu sabitin değeriyle belirlenen homojen bir enerji vermekle kalmaz (bir benzetme yaparak göreliliğin vergi formu dediğimiz formun üçüncü satırı), aynı zamanda uzayı her noktada aynı değeri alan negatif bir basınçla doldurur (Biraz sonra niye olduğunu göreceğiz.). Her birinin ürettiği kütleçekimi kuvvetine gelince, negatif basınç pozitif kütlenin ve pozitif basıncın yaptığının tersini yapacaktır. İtici kütleçekimini yaratacaktır.*

Einstein, itici kütleçekimi kavramını yanlış bir amaç için kullanmıştı. Şöyle demişti: Uzaya yayılan negatif basıncın miktarı hassas biçimde ayarlanırsa, üretilen itici kütleçekimi ile bildiğimiz kütleçekimi dengelenir ve statik bir evren oluşur. Görmüş olduğumuz gibi, Einstein daha sonra bu düşünceden vazgeçti. Bir diyapozonun tınısı Mahler'in Sekizinci Senfonisi'nin finalinden ne kadar farklıysa, altmış yıl sonra şişme kuramını geliştirenler de Einstein'ın sözünü ettiği itici kütleçekiminden o kadar farklı bir itici kütleçekimi anlayışı ortaya koydular. Şişme kuramı, evreni sabitleştirecek orta karar ve sabit bir dışa itiş modeli yerine, inanılmaz kısa sürede ve yoğunlukta yıldırım gibi gerçekleşen büyük bir itici güç modelini önermektedir. Uzaydaki alanların, şişme evresindeki patlamadan önce, aynı sıcaklığa gelmeleri için yeterince geniş zaman vardı ama sonrasında bu itici gücün devasa dalgasına kapılıp şu andaki konumlarına gelebilmek için çok uzak mesafeleri de kat ediverdiler.

* Negatif basıncın içe doğru çekeceğini, dolayısıyla itici –dışa doğru iten– kütleçekimiyle çelişeceğini düşünebilirsiniz. Gerçekte ise *her noktada aynı değeri alan* bir basınç, pozitif de negatif de olsa, ne iter ne de çeker. Kulak zarınız sadece her noktada aynı değeri almayan basınç olması durumunda, yani bir tarafta öteki taraftan daha düşük basınç varsa basınca maruz kalır. Burada tanımladığım itici etki ise *her noktada aynı değeri alan negatif basıncın varlığı ile ortaya çıkan kütleçekimi kuvvetidir.* Bu anlaşılması belki biraz zor, ancak önemli bir noktadır. Pozitif kütle ya da pozitif basınç bilindik kütleçekimini meydana getirirken, negatif basınç da daha az bilindik itici kütleçekimine neden olur.

Bu noktada, eminim, Newton size onaylamaz bir bakış daha fırlatırdı. Her zamanki şüpheciliğiyle, açıklamalarınızda bir hata daha bulurdu. Standart ders kitaplarından birini alıp genel görelilik konusunda biraz daha ayrıntılı bilgi edindikten sonra, Newton, tuhaf da olsa, kütleçekiminin –ilke olarak– itici olabileceğini kabul ederdi. Ancak şu soruyu da sorardı: Uzayı kaplayan bu negatif basınç da nedir? Negatif basıncı açıklamak için gerilmiş lastik bandı örnek verebilir ya da milyarlarca yıl önce büyük patlamanın olduğu sıralarda uzaya çok büyük ve her yerde aynı değeri alan negatif basıncın yayıldığını söylerdiniz. Nasıl bir şey ya da süreç böylesi bir anda oluşmuş ama her yere yayılmış negatif bir basınç oluşturmuş olabilir?

Şişme kuramı öncülerinin dehası bu soruya bir yanıt vermeliydi. Kütleçekimi karşıtı bir patlamanın olabilmesi için gereken negatif basıncın, *kuantum alanları* adını verdikleri içeriklere sahip yepyeni bir mekanizmadan kaynaklandığını belirttiler. Konumuz gereği ayrıntılar önem taşımaktadır, çünkü şişme evreli bir genişlemenin ne şekilde ortaya çıktığı, ne tür paralel evrenler ortaya koyduğuyla da yakından ilgilidir.

Kuantum Alanları

Newton'un zamanında fizik, görülebilen cisimlerin hareketleriyle ilgileniyordu –taşlar, gülleler, gezegenler– dolayısıyla, Newton'un geliştirdiği denklemler bu konuya odaklanmıştı. Newton'un hareket yasaları somut maddelerin itilince, çekilince ya da havaya fırlatılınca nasıl hareket ettiklerini açıklayan matematiksel ifadelerdi. Yüz yılı aşan bir süre, bu ifadeler son derece açıklayıcı bir yaklaşım olarak kabul gördü. Ancak 1800'lerin başlarında İngiliz bilim insanı Michael Faraday, bakış açımızda değişiklik sağlayacak önemli bir kavramı, *alan* kavramını ortaya attı.

Elinize buzdolabına asılan mıknatıslardan güçlü bir tanesini alıp bir metal ataşın iki-üç santimetre üzerinde tutun. Ne olacağını bilirsiniz. Ataş âdeta zıplayıp mıknatısa yapışır. Bu o kadar sıradan ve bildik bir olgudur ki dikkatimizi bile çekmez. Mıknatıs hiç temas etmeden kısa bir mesafeden ataşı hareket ettirebi-

lir. Bu nasıl olabilmekteydi? Hiçbir temas olmadan ataşın hareket etmesini sağlayan etki nasıl uygulanabilirdi? Bu ve benzeri düşünceler Faraday'e mıknatısın temas etmese de ataşa etki eden bir şey üretmekte olduğunu düşündürdü. O şey Faraday'in *manyetik alan* adını verdiği etkiydi.

Mıknatısların ürettiği manyetik alanları gözlerimizle göremeyiz; seslerini duyamayız; hiçbir duyumuzla o etkiyi hissedemeyiz. Bu sadece fizyolojik sınırlarımızı gösterir, hepsi bu. Ateşin ısı üretmesi gibi, mıknatıs da manyetik alan üretir. Mıknatısın fiziksel sınırlarının ötesinde, mıknatısın manyetik alanı çevresindeki boşluğu dolduran ve mıknatısa sahip olduğu etkiyi veren bir tür "pus" ya da "öz"dür.

Manyetik alanlar sadece bir alan tipidir. Yüklü parçacıklar da bir diğerini oluşturur; tıpkı halı kaplı bir odanın kapısını açmak için kapının metal kolunu tuttuğunuzda sizi çarpan elektrik alanında olduğu gibi. Beklenmedik bir şekilde, Faraday deneyleri elektrik ve manyetik alanların birbirleriyle ilişkili olduklarını gösterdi: Değişen elektrik alanları manyetik alan üretiyordu ya da tersi oluyordu. 1800'lerin sonuna doğru, James Clerk Maxwell bu karşılıklı etkileşimi matematiksel olarak açıklayıp elektrik ve manyetik alanları uzaydaki her bir noktaya verdiği sayılarla tanımladı. Bu sayıların değerleri manyetik alanın o noktadaki etki uygulama gücünü gösteriyordu. Manyetik alanın sayısal değerlerinin büyük olduğu yerler, örneğin manyetik rezonans görüntüleme kovuğu, metal maddelerin güçlü bir itme ya da çekme etkisi altına girdiği yerlerdir. Boşlukta elektrik alanının sayısal değerinin büyük olduğu yerler, örneğin, bir fırtına bulutunun içi, yıldırımın oluşması gibi, güçlü elektrik boşalmasının gerçekleştiği yerlerdir.

Maxwell, elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin boşlukta bir noktadan diğerine ya da zamanın belli bir anından ötekine değişiklik göstereceğini belirten ve bugün kendi adıyla anılan denklemleri keşfetti. Bu denklemler, aslında hepimizin içinde yüzdüğü elektrik ve manyetik alanlar denizindeki dalgaları, diğer bir deyişle, *elektromanyetik dalgaları* tanımlıyordu. Cep telefonunuzu, radyonuzu ya da kablosuz internet bağlantınızı açın, alınan sin-

yaller çevrenizde her saniye kayıp giden elektromanyetik dalgaların sadece küçük bir bölümünü oluştururlar. Hepsinden şaşırtıcı olanı, Maxwell'in denklemlerine göre, görebildiğimiz ışık aslında gözlerimizin görmeye evrildiği elektromanyetik bir dalgadır.

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında, fizikçiler alan kavramını kuantum mekaniği çerçevesinde yeni mikroevren anlayışıyla birleştirdiler. Bunun sonucunda ortaya atılan *kuantum alan kuramı,* maddeye ve doğa kuvvetlerine ilişkin en gelişmiş kuramlar için matematiksel bir çerçeve sağlıyordu. Fizikçiler bu kuramı kullanarak elektrik ve manyetik alanların yanı sıra, *güçlü* ve *zayıf nükleer alanlar, elektron, kuark* ve *nötrino* gibi pek çok başka alanların da bulunduğunu belirlediler. Bu alanlardan biri de şişme kozmolojisinin kuramsal temelini oluşturan ve halen tamamen varsayımsal olan *inflaton alanı*ydı.*

Kuantum Alanları ve Şişme

Alanlar enerji taşırlar. Bunu biliyoruz, çünkü nitelik açısından bakarsak, sözünü ettiğimiz ataş gibi nesneleri hareket ettirebilmek için enerjiye ihtiyaç vardır. Nicelik açısından bakarsak, kuantum alan kuramının denklemleri ile belli bir yerdeki alanın sayısal değeri verildiğinde, bu yerde bulunan enerji miktarı hesaplanabilir. Genelde, değer ne kadar büyükse, enerji de o kadar fazladır. Bir alanın değeri belli bir noktadan diğerine değişiklik gösterebilir, ancak bu değer her yerde aynı, sabit bir değer olacaksa, o zaman uzaydaki her noktanın aynı enerjiyle dolu olması gerekir. Guth'un görüşüne göre, bu tarzda her noktada aynı olan alan yapıları uzayı yalnızca her noktada aynı değeri alan bir enerjiyle değil, aynı zamanda her noktada aynı değeri alan bir negatif basınçla da dolduruyordu. Guth, böylece, *itici kütleçekimini doğuran bir fiziksel mekanizmayı bulmuş oldu.*

Her noktada aynı olan bir alanın neden negatif basınç ürettiğini anlayabilmek için önce pozitif basıncın üretildiği sıradan

* Uzayın hızlı genişlemesi İngilizce'de "inflation" (enflasyon, şişme) olarak adlandırılmaktadır. Ancak sonu "on" la biten elektron, proton, nötron, müon vb. terimlerden dolayı fizikçiler, şişme alanını "inflation" sözcüğündeki ikinci "i"yi atarak "inflaton" alanı olarak tanımladılar.

koşullara bakalım: Bir şampanya şişesini açtığınızı düşünün. Şişe mantarını yavaşça çıkartmaya çalışırken şampanyanın içindeki karbondioksitin dışarıya doğru yaptığı ve mantarı elinize doğru ittiren pozitif basıncı hissedersiniz. Gerçek şu ki dışarıya doğru yapılan bu çekiş şampanyadan az bir enerji alır. Mantar çıkartıldığında şişenin ağzına doğru baktığınızda buhar izleri görürsünüz. Bu buhar izlerinin nedeni şampanyanın mantarı itmek için harcadığı enerji sonucu sıcaklığın düşmesidir. Tıpkı soğuk bir kış gününde nefesinizle çıkan buharın yoğunlaşması gibi.

Şimdi daha açıklayıcı başka bir şey düşünelim: Şişenin her tarafında değeri her noktada aynı olan bir alan olsun. Böyle bir durumda mantarı çıkartırken deneyiminiz daha farklı olacaktır. Mantarı dışarı doğru çekerken şişenin içindeki alanın yayılması için biraz daha fazla hacim sağlamış olursunuz. Her noktada aynı değeri alan bir alan her noktada aynı enerjiyi sağlayacağından, alanın hacmi ne kadar büyürse, şişenin içindeki enerji de o kadar *artacaktır*. Şampanya dolu bir şişedeki durumdan farklı olarak, böyle bir şişedeki mantarı çıkarttığınızda şişedeki enerji artış gösterecektir.

Bu nasıl olmaktadır? Enerji nereden gelmektedir? Şöyle düşünelim: Şişenin içindekiler mantarı dışa itmek yerine *içeri doğru çekseydi* ne olurdu? Bunun için mantarı çekmeniz, dolayısıyla, kaslarınızdaki enerjiyi şişenin içine aktarmanız gerekir. Şişenin içindeki enerji artışı, mantarı dışarıya doğru iten şampanyadan farklı olarak, her noktada aynı değeri alan bir alanın yarattığı içe çekilişle ilgilidir. Her noktada aynı değeri alan bir alanda negatif –pozitif olmayan– basınç oluşması böyle bir şeydir.

Kozmosu şampanya açar gibi açan bir garson yoktur elbette, ama anlattığımıza benzer bir sonuç izlenebilir: Uzayın bir bölgesinde her noktada aynı değere sahip bir alan –varsayımsal bir inflaton alanı– varsa, o alan bölgeyi yalnızca enerjiyle değil, aynı zamanda negatif basınçla dolduracaktır. Böyle bir negatif basınç da tahmin edileceği gibi itici kütleçekimi oluşturacak, bu da uzayın daha hızlı bir biçimde genişlemesine yol açacaktır. Guth, Einstein'ın denklemlerinin içine, evrenin oluştuğu dönemlerdeki

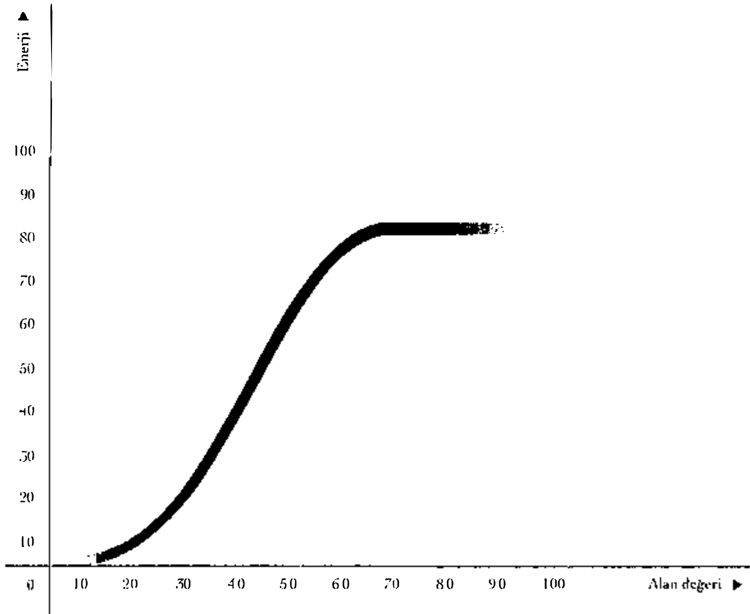
sıra dışı ortamla uyumlu inflaton enerjisinin ve basıncının sayısal değerlerini yerleştirince, matematiksel sonuçlara göre, ortaya muazzam bir itici kütleçekimi çıktı. Bu güç, Einstein'ın yıllar önce kozmolojik sabitle üzerinde çalışırken öngördüğü itici güçten katbekat daha büyük olacak ve dikkate değer bir uzamsal gerilme meydana getirecekti. Bu bile tek başına son derece heyecan verici bir durumdu, ama Guth kaçınılmaz bir başka getirisi daha olduğunu fark etti.

Her noktada aynı değeri alan bir alanın negatif basınç yaratmasını açıklayan mantık kozmolojik bir sabite de uygulanabiliyordu (Şişede kozmolojik sabit barındıran boş bir hacim olsa, mantarı yavaşça çıkarırken şişenin içinde büyüyen hacim fazladan enerji demektir. Bu fazladan enerjinin tek kaynağı kaslarınızdır. Kaslarınız kozmolojik sabit nedeniyle şişede oluşan negatif basınca karşı gerilirler.). Her noktada aynı değeri alan bir alanda olduğu gibi, kozmolojik sabitin negatif basıncı da itici kütleçekimi yaratır. Burada önemli nokta aslında benzerlikler değil, kozmolojik sabitle her noktada aynı olan alan arasındaki farklılıklardır.

Kozmolojik sabit, daha önce örneklediğimiz genel görelilik vergi formunun üçüncü satırındaki gibi, milyarlarca yıl önce nasıl yarattıysa bugün de itici kütleçekimini yaratan sabit bir sayıdır. Farklı olarak, alanın değeri değişebilir, genellikle de değişecektir. Mikrodalga fırınınızı çalıştırdığınızda, fırının içini dolduran elektromanyetik alanda bir değişikliğe neden olursunuz. Sağlık teknisyeni manyetik rezonans görüntüleme cihazını çalıştırdığında, kovuk içindeki elektromanyetik alanı değiştirir. Guth, uzayı dolduran inflaton alanının da benzer bir davranış göstereceğini –kısa bir süre için çalıştır ve kapa– ve çok kısa bir zaman aralığında bir itici kütleçekimi yaratacağını fark etmiştir. Bu zorunludur. Eğer uzayın ani ve şiddetli bir genişlemesi söz konusu olmuşsa, bu milyarlarca yıl önce olmuş ve sonradan bu genişleme gökbilimcilerin ölçümleriyle de kanıtlandığı gibi, telaşsız hızına düşmüş olmalıdır. O halde, şişme kuramının en önemli özelliklerinden biri, bu güçlü itici kütleçekimi safhasının geçici bir süre etkili olmuş olmasıdır.

Şişme oluşturan bu sürecin başlangıcını ve bitişini sağlayan mekanizmanın ne olabileceğini fizikte önce Guth araştırmış, sonradan Linde ve Albrecht ile Steinhardt konuyu ayrıntılı biçimde incelemişlerdir. Önerilerinin tam olarak ne olduğunu anlayabilmek için bir top düşünün, daha iyisi neredeyse yuvarlak olan Eric Cartman'ı düşünün. South Park'ın karla kaplı dağlarından birine her an kayabilecek bir konumda yerleştirilmiş olsun. Bir fizikçi size Cartman'ın bulunduğu yerde –salıverilmeye hazır hapsedilmiş– bir *potansiyel enerji*ye sahip olduğunu, Cartman itildiğinde ise bu potansiyel enerjinin Cartman aşağıya yuvarlanırken hareket enerjisine *(kinetik enerji)* dönüşeceğini söyleyecektir. Gerek deneyimlerimize gerek fizik yasalarına dayanarak, bunun tipik bir durum olduğunu biliriz. Potansiyel enerji barındıran bir sistem, bu enerjiyi salıverecek her imkânı değerlendirir. Kısacası, nesneler düşer.

Değeri sıfır olmayan bir alanın taşıdığı enerji potansiyel enerjidir: Bu enerji, Cartman örneğinde olduğu gibi, salıverilmeye



Şekil 3.1 Bir inflaton alanının değerlerine göre (yatay eksen) alandaki enerji (düşey eksen).

hazırdır. Nasıl ki Cartman tırmandığı tepenin yüksekliğine ve tepenin eğimine bağlı olarak o kadar yüksek bir potansiyel enerjiye sahip oluyorsa –düzlük yerlerde, tırmanma az olduğu için, Cartman'ın potansiyel enerjisi az artacaktır, dik bir yokuşu tırmanmaya başladığında önemli ölçüde artacaktır– bir alanın potansiyel enerjisi de aynı mantıkla değişiklik gösterecektir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, *potansiyel enerji eğrisi* adı verilen eğri ile bir alanın potansiyel enerjisinin alanın değerine bağlı olarak nasıl bir değişiklik gösterdiği belirtilebilir.

Şişme kuramının öncülerinin savlarından yola çıkalım ve kozmosun ilk anlarında uzayın bir inflaton alanıyla her noktada aynı değeri alacak biçimde dolmuş olduğunu düşünelim. Bu alanın değeri de potansiyel enerji eğrisi üzerinde tepede bir değer olsun. Diyelim ki potansiyel enerji eğrisi (Şekil 3.1'den izlenebileceği gibi) tepede bir yayla gibi düzleşiyor ve bu sayede inflaton tepede oyalanabiliyor. Bu varsayımsal koşullarda ne olacaktır?

Her ikisi de çok önemli iki şey olacaktır: İnflaton yayla üzerinde olduğunda, uzayı büyük bir potansiyel enerji ve negatif basınçla dolduracak, ani bir şişmesel genişlemeye yol açacaktır. Tıpkı Cartman'ın tepeden aşağıya düşerken potansiyel enerjisini salıvermesi gibi, inflaton da potansiyel enerjisini alan değeri doğrultusunda uzayda salıverecektir. Değeri düştükçe, barındırdığı enerji ve negatif basınç dağılacak, böylece o muazzam genişleme süreci sona erecektir. Eşit derecede önemli diğer nokta da şudur: İnflaton alanı tarafından salıverilen enerji uzayda kaybolmamakta, tıpkı soğuyan buharın yoğunlaşarak su damlacıklarına dönüşmesi gibi, inflatonun enerjisi de yoğunlaşıp her yerde aynı olan bir parçacık banyosu olarak uzayı baştan başa doldurmaktadır. Bu iki aşamalı süreç –kısa ama ani genişleme ve sonrasında enerjinin parçacıklara dönüşmesi– uzayı yıldızlar ve gökadalar gibi hepimizin bildiği yapılarla dolduran muazzam ve her noktada aynı olan bir uzamsal genişlemeyle sonuçlanmıştır.

Kesin ayrıntıların dayandığı faktörler (inflaton alanının başlangıçtaki değeri, potansiyel enerji eğrisinin eğimi vb.)[5] henüz ne

kuramsal olarak ne de gözlem yoluyla açıklanmış durumdadır ancak tipik matematiksel hesaplamalar inflaton enerjisinin yokuştan aşağı saniyenin çok küçük bir kesri kadar, yaklaşık 10^{-35} saniye mertebesinde düşmüş olabileceğini göstermektedir. Yine de bu kısa zaman diliminde uzay müthiş bir ölçüde, belki de 10^{30} oranında genişlemiş olabilir. Bu rakamlar o kadar muazzam rakamlardır ki bir benzetme yapabilmek zordur. Ancak anlamı şudur: Uzayda bir bezelye tanesi büyüklüğünde herhangi bir alanı gözlemleyebildiğimiz evrenden bile büyük bir alana genişletmek için gereken zaman göz açıp kapayıncaya kadar geçen kısacık bir zaman diliminden bile milyon kere milyar kere milyar kere milyardan daha ufaktır.

Böylesi bir ölçeği gözümüzde canlandırmak son derece güç olsa da burada önem taşıyan konu, evrenin gözlemleyebildiğimiz bölümünü oluşturan uzay parçasının bile zamanında gayet küçük bir bölge olduğu ve bu nedenle de o ani genişlemeyle bizim büyük kozmik yapımıza dönüşmesi öncesinde her yerde aynı değeri alan bir sıcaklık derecesine ulaşmış olabileceğidir. Şişmeye dayalı genişleme ve devamında milyarlarca yıl alan kozmolojik evrim süreci bu sıcaklığın önemli ölçüde düşmesine neden olmuştur ama zamanında oluşan her yerde aynı değeri alma durumu bugüne kadar özelliğini korumuştur. Bu bakış açısı ile yaklaştığımızda, nasıl olup da evrenin her yerde aynı olan koşullara sahip olduğunu açıklayabiliyoruz. Şişme söz konusu olunca, sıcaklığın uzayın her alanında aynı değeri alması kaçınılmaz gözükmektedir.[6]

Ebedi Şişme

Ortaya konulmasından bu yana geçen neredeyse otuz yıllık zaman içinde şişme kuramı, kozmoloji araştırmalarının demirbaşı haline gelmiştir. Ancak yapılan araştırmaları kafanızda doğru canlandırabilmeniz için şişme kuramının aslında genel bir çerçeve oluşturduğunu, belirli bir kuram olmadığını belirtmemiz gerekir. Araştırmacılar bu kurama yönelik olarak, örneğin, negatif basıncı sağlayan inflaton alanlarının sayısından tutun, her alanın

ilintili olduğu potansiyel enerji eğrilerine kadar, ayrıntılarda birbirinden farklılık taşıyan yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Kesin bir model üzerinde uzlaşılmış olmadığı halde, neyse ki bu farklı yaklaşımların ortak noktaları bulunmakta, bu sayede de belli sonuçlara varabilmemiz mümkün olmaktadır.

Bu konulardan bir tanesi, ilk önce Alexander Vilenkin (Tufts Üniversitesi) tarafından ortaya konulan, sonra başkaları, ama özellikle de Linde (Stanford Üniversitesi) tarafından geliştirilen ve bu bölümün önemli bir kısmını şişme kuramına ayırmamın nedeni olan konudur.[7]

Şişme kuramının çeşitli versiyonlarında, uzayın aniden genişlemesi bir kerelik bir olay olarak ele alınmaz. Bunun yerine, evrende belli bir bölgenin oluşması –uzayın önce çok hızlı, takip eden süreçlerde daha yavaş bilindik biçimde genişlemesi ve parçacıkların meydana gelmesi– kozmosta birbirlerinden çok uzak ve farklı bölgelerde her seferinde ayrı ayrı ve farklı zamanlarda meydana gelmiş bir süreç olarak açıklanır. Bu yaklaşımla bakıldığında kozmosun, ani şişmeye bağlı genişlemesinden sonra ortaya çıkmış birbirlerinden ayrı sayısız bölgelerden oluştuğu söylenebilir. Yaşadığımız ve hep *evren* olarak adlandırdığımız bölge, kozmosun sonsuzluğundaki bu sayısız bölgelerden sadece bir tanesidir. Eğer diğer bölgelerde yaşam varsa, oradaki canlılar da kendi bölgelerinin *tek* evren olduğunu düşünüyor olabilirler. Bu nedenle, şişme kuramı bizi paralel evrenler düşüncesine yöneltmektedir.

Bu *Şişme Evreli Çoklu Evren*'in nasıl meydana geldiğini daha iyi anlayabilmek için yine şu bizim Cartman benzetmesine dönmemiz gerekecek.

Yüksek bir dağın zirvesine yerleştirilmiş Cartman'ın durumunu kayda değer potansiyel enerji ve negatif basınç değerlerine sahip bir inflaton alanına benzetmiş, aşağıya yuvarlanması durumunda değerlerin azalacağını söylemiştik. Diyelim ki Cartman yine tepe noktasına yerleştirilmiş olsun. Ancak, inflaton alanı boşluktaki *her bir* noktada bir değere sahiptir. Kurama göre, inflaton alanı belirli bir başlangıç bölgesinin her noktasında aynı

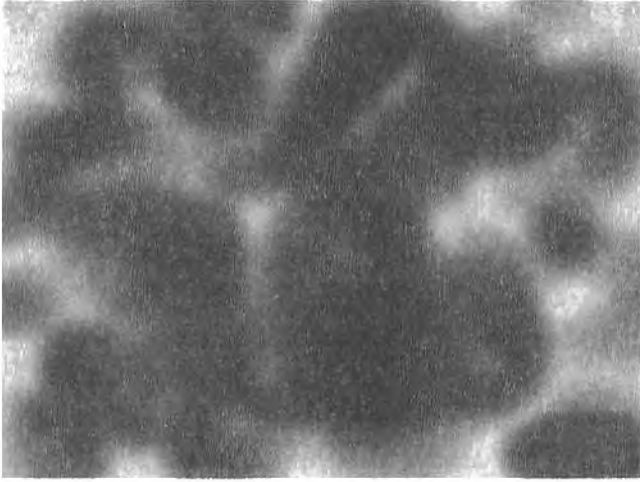
değerle başlar. Yani gözümüzde biraz garip bir şey canlandırsak bilime daha sadık kalmış oluruz: Birbirlerine çok yakın konumda ve birbirlerine tıpatıp benzeyen dağların zirvelerine yerleştirilmiş çok sayıda Cartman klonları.

Şu ana kadar kuantum alan kuramının *kuantum* yanına çok az değindik. Kuantum evrenimizdeki her şey gibi, inflaton alanı da kuantum belirsizliğine tabidir. Buna göre, alanın değeri zaman içinde bir noktada biraz artan diğer noktada biraz azalan değişimler gösterecektir. Gündelik yaşamımızda bu gibi kuantum titremeleri dikkatimizi çekmeyecek kadar küçüktür. Ancak hesaplamalar göstermektedir ki bir inflaton alanının enerjisi ne kadar büyükse, kuantum belirsizliği içinde göstereceği değer değişmeleri de o kadar fazla olacaktır. O ani şişme patlaması sırasında inflatonun enerjisi son derece yüksek olduğundan, evrenin ilk anlarındaki değer değişmelerinin de çok büyük ve etkin olması söz konusudur.[8]

O halde, yalnızca yakın ve özdeş zirvelere yerleştirilmiş Cartmanları değil, bu Cartmanların farklı sarsıntılar altında –bir noktada güçlü, diğer noktada zayıf, başka bir noktada çok daha güçlü– olacağını da dikkate almalıyız. Bu durumda neler olabileceğini saptayabiliriz. Farklı Cartmanların kendi tepelerinde durma süreleri farklı olacaktır. Bazı tepelerdeki Cartmanlar, güçlü ve yoğun sarsıntı nedeniyle yamaçtan aşağıya daha önce yuvarlanmaya başlayacaklar, bazı tepelerdeki Cartmanlar ise orta halli titreşimleri nedeniyle ya bulundukları yerde kalmaya devam edecekler ya da sonradan onları yine tepeye *geri* itecek daha güçlü bir sarsıntı çıkana kadar yuvarlanma eğilimi göstereceklerdir. Bir zaman sonra, Cartmanların bulunduğu arazide –Amerika Birleşik Devletleri'nin eyaletlere bölündüğü gibi– farklı sahalar görünecektir, bazı tepelerde Cartmanların durduğu, bazı tepelerde ise hiçbir Cartman'ın bulunmadığı sahalar.

Bu rastgele kuantum değişmeleri inflaton alanı için de benzer sonuçlar vermektedir. Uzayın belli bir bölgesinin her noktasında, inflaton alanı önce potansiyel enerji eğrisinin tepesindedir. Daha sonra kuantum titremeleri sarsıntılar gibi işlev gösterirler.

Bu nedenle, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, geniş uzay hızlıca bölünür: Bazılarında kuantum titremeleri alanın potansiyel enerji eğrisi üzerinde aşağıya sürüklenmesine neden olurken, bazılarında alan yüksekte bir noktada kalır.



Şekil 3.2 İnflaton alanının eğrinin yamacından aşağı düştüğü (koyu gri) ve yukarıda kaldığı (açık gri) çeşitli bölgeler.

Buraya kadar her şey tamam. Ancak şimdi biraz daha dikkat kesilmenizde yarar var, çünkü kozmolojiyle Cartmanlar bu noktada ayrılmaya başlıyor. Potansiyel enerji eğrisi üzerinde yüksekte bir yere yerleşmiş alan, örnek verdiğimiz Cartman'dan farklı olmak üzere, çevresini önemli ölçüde etkiler. Bir alanın her noktada aynı değeri alan enerjisinin ve negatif basıncının itici kütleçekimi yarattığından yola çıkarak alanın içinde bulunduğu bölgenin olağanüstü bir hızla genişlemeye başladığını da biliyoruz. Bu demektir ki inflaton alanının uzaydaki evrimi birbirinin aksi iki süreç tarafından gerçekleştirilmektedir. Kuantum titremeleri, alanı eğri üzerinde bulunduğu noktadan aşağıya düşürmeye çalışırken, yüksek alan enerjisi ile dolu uzayın hacmini *azaltırlar*. Şişme evreli genişleme, alanın eğri üzerinde yerleştiği yüksek noktanın içinde bulunduğu bölgeleri hızla genişleterek, yüksek alan enerjisi ile dolu uzayın hacmini *arttırır*.

Peki hangi süreç galip gelir dersiniz?

Önerilen şişme kozmolojisi modellerinin büyük çoğunluğunda, artışla azalmanın hemen hemen aynı anda ortaya çıktığı belirtilmektedir. Bunun nedeni, potansiyel enerji eğrisinin tepesinden aşağıya itilen bir inflaton alanının ufuk problemini çözebilme konusunda ancak çok küçük bir şişme yaratmasıdır. Böylece şişme kuramının kozmoloji alanında başarılı versiyonlarında, artış azalmaya galip gelir. Bu da alan enerjisinin yüksek olduğu uzay hacminde zaman içinde artış anlamına gelmektedir. Bu tür alan biçimlenmelerinin daha fazla şişme evreli genişlemeye yol açtığını düşündüğümüzde, genişlemenin bir kez başladı mı artık hiç bitmeyeceğini anlarız.

Bu, tıpkı virüsle yayılan salgınlar gibidir. Tehdidi yok etmek için virüsün çoğalma hızından daha hızlı davranıp onu ortadan kaldırmanız gerekir. Şişme virüsü "çoğalır" –yani yüksek bir alan değeri hızlı bir uzay genişlemesi yaratır ve aynı yüksek alan değeriyle daha geniş bir bölgeye yayılır. Bunu da diğer süreçlerin engellemesine meydan vermeyecek bir hızda gerçekleştirir. Şişme virüsü yok oluşa etkili biçimde karşı durur.[9]

Gravyer Peyniri ve Kozmos

Anlatılanların tümüne baktığımızda, şişme kozmolojisinin gerçekliğin enginliğine yönelik basit bir örnekle rahatça anlaşılabilecek yepyeni bir resim çizdiğini görürüz. Evreni kocaman bir gravyer peyniri bloğu gibi düşünün. Peynir olan kısımlar inflaton alanı değerinin yüksek olduğu, delik kısımlar ise düşük olduğu yerler olsun. Diğer bir deyişle, delikler, bizimki gibi, ani ve çok hızlı bir genişleme sürecini yaşayıp daha sonra inflaton alanı enerjisinin parçacıklara, yani zaman içinde gökadalara, yıldızlara ve gezegenlere dönüştüğü bölgeler olsun. Bu biçimde düşündüğümüzde, kozmik peynirde giderek daha fazla deliğin ortaya çıkmasını bekleyebiliriz, çünkü rastgele değişik noktalarda kuantum süreçleri inflaton değerini aşağıya çekecektir. Aynı zamanda, peynir olan kısımlar sahip oldukları yüksek inflaton alanı değeri nedeniyle şişmeye dayalı genişlemeye uğradığından giderek daha fazla genişleyecektir. Her iki süreç sonucu kozmik

peynir bloğu devamlı genişlerken delikli kısımlarının sayısı da devamlı artacaktır. Kozmolojinin diliyle konuşursak, peynirdeki her bir delik bir *baloncuk evren* (ya da *cep evren*) olarak adlandırılır.[10] Her bir baloncuk evren, son derece hızlı gerçekleşen kozmik genişlemenin içindeki pencereler gibidir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Şişme Evreli Çoklu Evren, yüksek değerli inflaton alanı nedeniyle durmaksızın genişleyen uzay ortamında sürekli olarak baloncuk evrenlerin ortaya çıkmasıyla oluşur.

Bu "baloncuk evren" terimi, küçültme ekinden dolayı sakın sizi yanıltmasın. Çok büyük bir kozmik yapının içindeki tek bir bölge –muazzam büyüklükteki kozmik peynir bloğunun içinde baloncuklardan sadece biri– olsa da evrenimiz çok büyüktür. Bu da şişme kuramı anlayışında, kozmosun tümündeki aklın alamayacağı ölçüde olağanüstü genişlemeyi daha iyi kavramamızı sağlayabilir. Bu durum diğer baloncuklar için de geçerlidir. Her bir baloncuk, aynı bizimki gibi gerçek, devasa ve dinamik ayrı bir evrendir.

Şişmeyi ebedi olarak tanımlamayan şişme kuramları da bulunmaktadır. Zeki kuramcılar, inflaton alanlarının sayısı ya da potansiyel enerji eğrileri gibi ayrıntılar üzerinde oynayarak tüm bu etkileşimleri öyle ayarlayabilirler ki inflaton yerleştiği bütün tepelerden aşağıya her yerde düşebilir. Ancak bu tür savlar ge-

nellikle istisna savlardır. Şişme kuramının daha sıradan modellerinde, pek çok kuramsal araştırmanın da ortaya koyduğu gibi, sonuçta sonsuza dek muazzam biçimde genişleyen kozmosta çok sayıda baloncuk evrenlerin bulunması düşüncesi değişmemektedir. Dolayısıyla, Şişme Evreli Çoklu Evren yadsınamaz bir fiziksel olgu olarak ortaya çıkmaktadır.

Değişen Bakış Açıları

Vilenkin 1980'lerde şişme evreli genişlemenin ebedi olduğunu ve paralel evrenlere yol açtığını anlayınca soluğu MIT'den Alan Guth'un yanında almıştı. Anlattıklarının orta yerinde Guth'un başı çoktan öne düşmüş, uyuyakalmıştı. Aslında bu kötüye işaret değildi. Guth, fizik seminerlerinde durmadan kafasının uyur biçimde öne düşüp durmasıyla bilinirdi; sonra da birden gözlerini açıp en akıllıca soruyu soruverirdi. Ancak fizik çevreleri de konuya Guth'un gösterdiğinden daha fazla ilgi göstermedi. Bunun üzerine Vilenkin düşüncelerini rafa kaldırdı ve başka projelere yöneldi.

Oysa bugün görüşler çok farklı. Vilenkin, Şişme Evreli Çoklu Evren konusuna ilk kez eğildiğinde, şişme kuramını doğrudan destekleyen kanıtlar zayıftı. Vilenkin'in düşüncelerine kulak veren birkaç kişinin gözünde de paralel evrenleri doğuran şişme evreli genişleme fikri kurgu üzerine kurgudan başka bir şey değildi. Ancak o zamandan bugüne geçen süre içinde şişme kuramıyla ilgili olarak yapılan gözlemler, özellikle de mikrodalga fon ışınımı ölçümleri sayesinde, güçlü kanıtlar vermeye başladı.

Mikrodalga fon ışınımının her noktada aynı olduğunun gözlenmesi şişme kuramı geliştirilirken temel güdülerden biri olmuşsa da kuramın öncüleri çok geçmeden hızlı bir uzay genişlemesinin ışınımın tamamıyla her noktada aynı olmasını sağlamayacağını fark ettiler. Bunun yerine, enflasyoncu genişleme ile yayılan kuantum mekanik titremelerinin, her yerde aynı değeri alma durumunun üstünü tıpkı bir havuzdaki suyun yüzeyindeki küçük dalgalanmalar gibi çok küçük sıcaklık değişimlerinden

oluşan bir tabakayla kapladığını öne sürdüler. Bu görüş son derece çarpıcı ve etkili bir görüştü.* İşte ayrıntıları:

Kuantum belirsizliği inflaton alan değerinin titremesine yol açmış olmalıydı. Gerçekten de eğer şişme kuramı doğruysa, ani patlamayla oluşan şişmeye dayalı genişlemenin bu noktada durmuş olması gerek, çünkü yaklaşık 14 milyar yıl önce geniş bir kuantum dalgalanması inflatonu bulunduğu tepe noktasından aşağıya itmiş olabilir. Ancak sürecin daha devamı var. İnflatonun değeri hızlı bir biçimde düşerek bizim baloncuk evrenimizde şişmeyi sona erdirmiş olsa bile, bu değer kuantum titremelerine maruz kalmış olabilir. Bu kez titremeler, tıpkı yatağın üzerine atıverdiğiniz yorganınızın yüzeyinde olduğu gibi, inflaton değerini bazı yerlerde yükseltip bazı yerlerde indirmiş olabilir. Bu da uzayda bulunan inflatonun enerjisinde hafif değişmelere neden olmuştur. Normalde, bu tür kuantum değişmeleri o kadar miniktir ve o kadar küçük ölçeklerde gerçekleşir ki kozmolojik uzaklıklar söz konusu olduğunda hiçbir önem taşımazlar. Ancak, şişme evreli genişleme normalin dışında bir durumdur.

Uzayın genişlemesi, şişme evresinden dışarı çıkaran geçişlerde bile öylesine hızlıdır ki mikroskobik boyuttaki herhangi bir şey makroskobik boyuta ulaşır. Nasıl ki sönük bir balonun üzerindeki ufak bir yazı balon şişirildiği zaman daha rahat okunabiliyorsa, kuantum titremelerinin etkisi de enflasyoncu genişleme kozmik dokuyu gerdiğinde çok daha etkili hale gelecektir. Daha açık söylemek gerekirse, kuantum titremelerinin neden olduğu küçük enerji farklılıkları, kendini kozmik mikrodalga fon ışınımında belli eden sıcaklık farklılıklarına dönüşür. Hesaplamalar, sıcaklık farklılıklarının mutlaka çok büyük değerlerde olmadığını göstermektedir, derecenin binde biri oranında olabilir. Eğer belli bir bölgede sıcaklık 2,725 K ise gerilen kuantum titremeleri bu sıcaklığın yakın bölgelerde bir miktar düşmesine, örneğin, 2,7245 K'ye inmesine ya da 2,7255 K'ye yükselmesine yol açabilir.

* Bu görüşü öne sürenler arasında başta gelen isimler, Viatcheslav Mukhanov, Gennady Chibisov, Stephen Hawking, Alexei Starobinsky, Alan Guth, So-Young Pi, James Bardeen, Paul Steinhardt ve Michael Turner'dır.

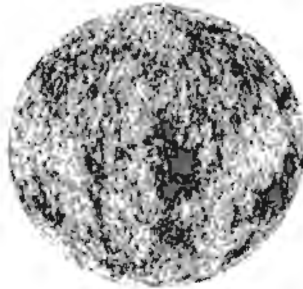
Son derece hassas biçimde yapılan gökbilim gözlemleri ile bu sıcaklık değişimleri izlenmiş ve bu değişimlerin gerçekleştiği saptanmıştır. Aynen kuramın öngördüğü gibi, derecenin binde biri oranında değişimler tespit edilmiştir (Şekil 3.4). Daha da etkileyici olanıysa bu çok minik sıcaklık değişikliklerinin gökyüzünde kuramsal hesaplarla net olarak tanımlanan bir örüntüye tıpatıp uymasıdır. Şekil 3.5'te iki bölge arasında uzaklığa bağlı olarak sıcaklığın nasıl değişmesi gerektiğini belirten kuramsal öngörülerle (Dünyadan bakıldığında bu bölgelerin her birinin gözlem hatları arasındaki açıyla ölçülmüştür.) gerçek ölçümleri kıyaslanmaktadır. Her ikisinin bu denli örtüşmesi inanılır gibi değildir.

2006 Nobel Fizik Ödülü, 1990'larda bu sıcaklık farklılıklarını ilk kez ortaya çıkaran ve binlerce araştırmacıdan oluşan Kozmik Fon Araştırma Ekibi'ni yöneten George Smoot ve John Mather'a verildi. Geçtiğimiz on yıl içinde yapılan yeni ve çok daha hassas ölçümler Şekil 3.5'teki veriler gibi, öngörülen sıcaklık değişimleriyle ölçülen değişimler arasındaki tutarlılığı bir kez daha ortaya koydular.

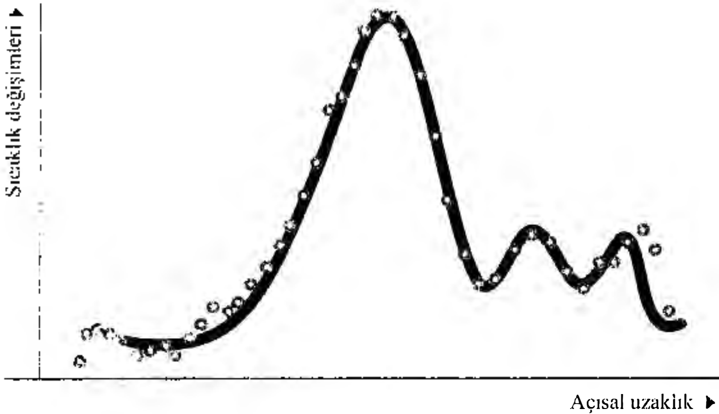
Bu, milyarlarca yıl öncesine ait öylesine büyük ve kesin bir keşifti ki Einstein'ın, Friedmann ve Lemaître'in öngörüleriyle başlayıp Gamow, Alpher ve Herman'ın hesaplamalarıyla gelişen, Dicke ve Peebles'ın fikirleriyle tekrar canlandırılan, Penzias ve Wilson'ın gözlemleriyle güçlendirilen ve şimdi de gökbilimciler, fizikçiler ve mühendisler ordusunun ortak çabalarıyla kozmik bir imzaya dönüşen muhteşem bir öykünün hak ettiği yeri bulmasıydı.

Daha niteliksel bir açıdan bakacak olursak, hepimiz Şekil 3.4'te gösterilen koyu renkli bölgelere müteşekkir olmalıyız. Kendi evrenimizdeki şişmenin son kısmında, nispeten daha fazla enerji yüklü bölgeler ($E=mc^2$ denklemine göre kütlesi daha büyük olan bölgeler) yine nispeten daha güçlü bir kütleçekimi oluşturup çevresinden daha fazla parçacığı çekerek daha da büyüdü. Bu kez, daha büyük bir bütünsel yapı, daha da fazla kütleçekimine sahip olunca, daha fazla maddeyi çekmeye ve tabii ki daha fazla büyümeye devam etti. Zaman geçtik-

çe bu kartopu etkisi milyarlarca yıl içinde öyle madde ve enerji kümeleri oluşturdu ki böylece içlerinde gökadalar ve yıldızlar meydana geldi. Şişme kuramı kozmostaki en büyük ve en küçük yapılar arasında böylesi anlamlı bir bağlantı kurmaktadır. Gökadalar, yıldızlar, gezegenler ve yaşamın kendisi, şişmeye dayalı bir genişlemeyle güçlendirilmiş mikroskobik kuantum belirsizliğinden türemişlerdir.



Şekil 3.4 Şişme kozmolojisine göre, uzayın muazzam ölçüdeki genişlemesi kuantum dalgalanmalarını mikroskobik boyuttan makroskobik boyutlara taşımış, sonuçta kozmik mikrodalga fon ışınımında izlenebilir sıcaklık değişimleri meydana gelmiştir (koyu renkli bölgeler, açık renkli bölgelere bir nebze daha soğuktur).



Şekil 3.5 Kozmik mikrodalga fon ışınımındaki sıcaklık değişimleri örüntüsü. Düşey eksen sıcaklık değişimlerini gösteriyor; iki bölge arasındaki uzaklık ise (dünyadan bakıldığında bu bölgelerin her birinin gözlem hatları arasındaki açıyla ölçülmüştür –daha büyük açılar solda, daha küçük açılar sağda) yatay eksen üzerinde gösterilmektedir.[11] Kuramsal eğri çizgiyle, gözlem verileriyse dairelerle belirtilmiştir.

Şişmenin kuramsal temelleri kesinleşmemiş olabilir: Sonuçta inflaton, varlığı üzerine doğrudan kanıtların sunulamadığı varsayımsal bir alandır; potansiyel enerji eğrisi, araştırmacılar tarafından öngörülmüştür, henüz gözlemlenmemiştir; inflaton bir biçimde uzayın belli bir bölgesinde, potansiyel enerji eğrisinin tepesinde başlayıp sürecini gerçekleştirmelidir. Tüm bunlara ve hatta kuramın bazı ayrıntılarında sorunlar bulunmasına karşın, kuramsal öngörüler ve yapılan gözlemler arasındaki tutarlılık bizi kozmik evrimle ilgili gerçeğin en yakınına getirmiştir. Şişmenin pek çok versiyonun, giderek sayıları artan baloncuk evrenlere yol açacak biçimde, ebedi olması, kuram ve gözlemlerin paralel dünyalar konusunda dolaylı da olsa ikna edici biçimde uyuştuğu anlamına gelmektedir.

Şişme Evreli Çoklu Evreni Deneyimlemek

Kapitone Çoklu Evren'de bir paralel evrenle diğeri arasında kesin bir ayrışma yoktur. Tüm parçalar, ayrı ayrı bölgelerde benzer niteliklere sahip, tek ve geniş bir uzayın parçalarıdır. İşin ilginç yanı ise ayrıntılarında gizlidir. Pek çoğumuz dünyanın kopyaları olabileceğini aklımıza getirmeyiz. Kendimizin, arkadaşlarımızın, ailemizin kopyalarının bulunabileceğini hayal bile edemeyiz. Oysa eğer yeterince uzaklara yol alabilseydik, bunlarla karşılaşabilirdik.

Bir Şişme Evreli Çoklu Evren'de, bu evreni oluşturan evrenler birbirlerinden kesin çizgilerle ayrılmıştır. Her biri kozmik gravyer peyniri bloğunda bir delik gibi olup diğer deliklerden içinde inflaton değerinin yüksek olduğu bölgelerle ayrılmıştır. Bu aradaki bölgelerin her birinde genişleme devam ettiği için baloncuk evrenler, aralarındaki genişleyen boşluğun miktarıyla orantılı bir çekilme hızıyla birbirlerinden uzaklaşırlar. Birbirlerinden ne kadar uzaklaşmışlarsa, genişleme hızının o kadar yüksek olduğu anlaşılır. Sonuç, uzak baloncuk evrenlerin ışığın hızından da hızlı biçimde birbirlerinden ayrılmasıdır. En ileri teknoloji ya da ölümsüzlük söz konusu olsa bile, böylesi bir uzaklığı aşabilmek hayal edilemez. Buralara herhangi biçimde bir sinyal gönderebilmek bile mümkün değildir.

Bununla birlikte yine de öteki baloncuk evrenlere bir yolculuk hayal edebiliriz. Böyle bir yolculuk sonunda neyle karşılaşırdık? Her bir baloncuk evren aynı sürecin sonucunda oluştuğu için –inflaton eğri üzerindeki en yüksek noktasından aşağıya doğru inmiş ve şişmeye dayalı genişlemesini bitirmiş bir bölgeyi yaratmış– bu baloncuk evrenlerin hepsi aynı fizik kuramı ile açıklanabilir durumdadırlar ve hepsinde aynı fizik yasaları geçerlidir. Nasıl farklı çevrelerde yetişen ikizler bile farklı davranış biçimleri sergilerlerse, farklı çevrelerde de aynı biçimde işlemesi öngörülebilecek fizik yasaları çok farklı biçimlerde işleyiş gösterebilirler.

Diğer baloncuk evrenlerden birinin yıldızlar ve gezegenlerle dolu gökadalarıyla bizimkine çok benzediğini, ancak temel bir farklılık gösterdiğini düşünün. Bu evreni de saran bir manyetik alan bulunsun. Bu manyetik alan, bizim en gelişmiş manyetik rezonans görüntüleme cihazlarından bile binlerce kere daha güçlü olsun ve bu alan bir teknisyenin düğmesine basıp kapatamayacağı türden bir manyetik alandır. Böylesi güçlü bir manyetik alan pek çok şeyin hareketini ciddi biçimde etkileyecektir. Yalnızca içinde demir bulunan maddeler bu alana doğru uçmakla kalmayacak, maddenin en temel bileşenlerinin, parçacıkların, atomların ve moleküllerin özellikleri değişecektir. Yeterince güçlü bir manyetik alan hücresel işlevleri öylesine etkileyecektir ki bildiğimiz anlamda bir yaşamın olması da düşünülemez.

Yine de bir manyetik rezonans görüntüleme cihazının içinde işleyen fizik yasaları, cihazın dışında da aynı olduğuna göre, bu manyetik evrende işleyen temel fizik yasaları da bizimkinde işleyen yasalarla aynı olacaktır. Deney ve gözlem sonuçlarında farklılıklar çıkarsa, bu durum tamamen çevresel faktörlerin sonucu olacaktır, yani güçlü manyetik alanın. Bu manyetik evrenin yetenekli bilim insanları zamanla bu çevresel faktörü göz ardı edip bizim bulduğumuz matematiksel kurallara odaklanabilirler.

Geçtiğimiz kırk yıl içinde, araştırmacılar kendi evrenimiz için de benzer bir senaryo üretmişlerdir. Standart fiziğin en takdir toplayan kuramı olan *parçacık fiziğinin Standart Modeli*'ne göre, hepimiz dünyada *Higgs alanı* adı verilen egzotik bir pus bulutu

içinde bulunmaktayız (Higgs alanı, İngiliz fizikçi Peter Higgs'in adıyla anılmaktadır. Robert Brout, François Englert, Gerald Guralnik, Carl Hagen ve Tom Kibble gibi bilim insanlarının katkılarıyla Peter Higgs 1960'larda bu görüşün öncülüğünü yapmıştır). Higgs alanı da manyetik alan da insan gözüyle görülemezler, bu nedenle varlıklarını fark ettirmeden uzayı doldururlar. Ancak, modern parçacık kuramına göre, bir Higgs alanı kendini daha da fazla gizlemektedir. Parçacıklar, bu her noktada aynı değeri alan ve uzayı dolduran Higgs alanından geçerken hızlarında ne artış ne de düşüş olmakta, ne de güçlü bir manyetik alan ortamında beklenebileceği gibi belli bir çekim yörüngesine girmektedirler. Kuramın savına göre, bu parçacıklar çok daha etkili ve güç algılanan başka biçimlerde etkilenmektedirler.

Temel parçacıklar bir Higgs alanından geçerlerken, *deneylere göre sahip oldukları belirtilen kütleyi edinir ve devam ettirirler.* Bu düşünceye göre, bir elektronu ya da bir kuarkı hızını arttırmak amacıyla ittiğinizde hissettiğiniz direnç aslında parçacığın pekmez kıvamındaki Higgs alanına "sürtünmesinden" ortaya çıkmaktadır. Parçacığın kütlesi olarak adlandırdığımız şey, işte bu dirençtir. Belli bir bölgeden Higgs alanını kaldırsaydınız, bu bölgeden geçen parçacıklar birdenbire kütlesiz kalırdı. Başka bir bölgede Higgs alanını iki katına çıkartsaydınız, bu kez parçacıkların kütleleri de iki katına çıkardı.*

Elbette bu türden varsayımlar pek gerçekçi değildir, zira uzayın küçük bir bölgesinde bile bir Higgs alanının değerini değiştirebilmek için gereken enerji bizim sağlayabileceğimiz bir enerji değildir. (Bahsettiğimiz değişimler de zaten varsayımsaldır çünkü Higgs alanlarının varlığı da tam anlamıyla bir sonuca bağlanmamıştır. Kuramcılar büyük bir umutla Büyük Hadron Çarpıştırıcısı projesinde protonların yüksek enerjideki çarpışmasıyla Higgs alanının küçük parçacıklarının –Higgs parçacıkları– or-

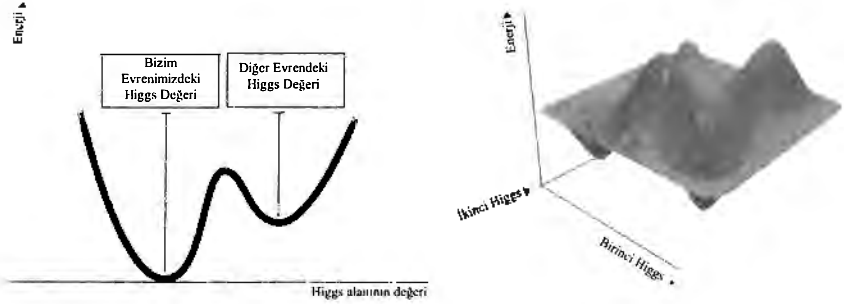
* Elektron ve kuarklar gibi *temel* parçacıklardan bahsettiğimizi özellikle vurgulamak isterim, çünkü protonlar ve nötronlar gibi her biri 3 kuarktan oluşan kompozit parçacıklarda kütlenin önemli bir kısmı bileşenleri arasındaki etkileşimden ortaya çıkar (proton ve nötronların içindeki kuarkları bağlayan güçlü nükleer (çekirdek) kuvvetin glüonları ile taşınan enerji, bu kompozit parçacıkların kütlesine katkıda bulunurlar).

taya çıkmasını beklemektedirler. Bu da önümüzdeki yıllarda görülecektir.) Ancak şişme kozmolojisinin farklı pek çok versiyonunda *bir Higgs alanının değişik baloncuk evrenlerde değişik değerlere sahip olabileceği* belirtilmektedir.

Tıpkı bir inflaton alanı gibi, bir Higgs alanının da değişik değerlerde sahip olabileceği enerji miktarını gösteren bir eğrisi vardır. Bu eğrinin inflaton alanı eğrisinden başlıca farkı, Higgs alanının sıfır değerine yerleşmemesi (Şekil 3.1'deki gibi), bunun yerine, Şekil 3.6a'da gösterildiği gibi, ilgili eğrinin çukur noktalarına yuvarlanıp orada yerleşmesidir. İki farklı baloncuk evrenin, bizimkinin ve bir başka baloncuk evrenin ilk evrelerini düşünelim. Her iki evrende de sıcak ve çalkantılı bir başlangıç, Higgs alanının eğrisinde çılgınca iniş çıkışlar göstermesine yol açacaktır. Her iki evren de genişleyip soğuyunca, Higgs alanı da durgunlaşacak ve değeri Şekil 3.6a'da gösterilen eğrinin çukurlarından birine yuvarlanacaktır. Bizim evrenimizde Higgs alanı değeri, deneysel gözlemlerden bildiğimiz parçacıkları oluşturacak biçimde, söz gelimi, gösterilen eğrinin soldaki çukurunda olsun. Öteki evrende ise Higgs alanı, eğride gösterilen sağdaki çukurun dibindeki değere sahip olabilir. Bu durumda böyle bir evren bizim evrenimizden önemli farklılıklar gösterecektir. Her iki evrende de aynı temel yasalar geçerli olsa bile, parçacıkların kütleleri ve diğer başka özellikleri aynı olmayacaktır.

Parçacık özelliklerindeki en ufak bir farklılık bile ağır sonuçlar doğuracaktır. Diğer evrendeki elektron kütlesinin bizimkinden birkaç kez büyük olması durumunda, elektronlar ve protonlar nötronları oluşturacak ve böylece hidrojenin büyük miktarda üretilmesini önleyeceklerdir. Temel kuvvetler de –elektromanyetik kuvvet, nükleer kuvvetler ve (inanıyoruz ki) kütleçekimi– parçacıklar tarafından iletilmektedir. Parçacıkların özelliğini değiştirdiğinizde bu kuvvetlerin özelliklerini de değiştirmiş olursunuz. Örneğin, parçacık ne kadar ağırsa, hareketi o kadar yavaş, iletilen kuvvetin mesafesi de o kadar kısa olur. Bizim evrenimizdeki atomların oluşumu ve dayanıklılığı elektromanyetik ve nükleer kuvvetlerin özelliklerine bağlıdır. Bu güçleri önemli derecede değiştirirseniz atomlar da ayrışacak ya da büyük olası-

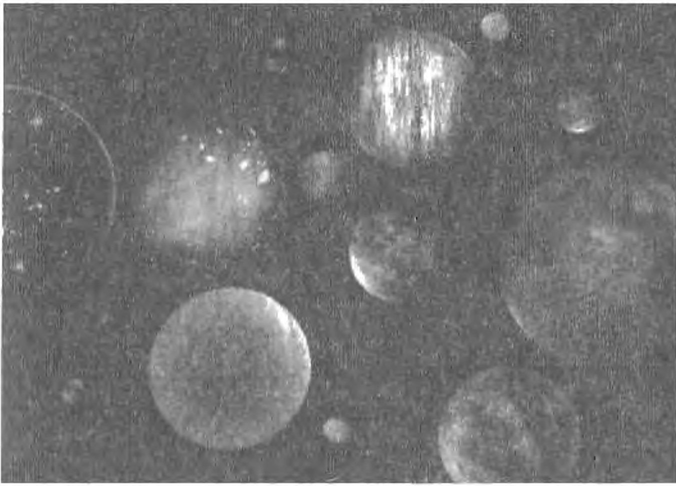
lıkla, baştan bir araya gelemeyeceklerdir. Bu nedenle, parçacıkların özelliklerindeki önemli bir değişiklik, evrenimize bildiğimiz niteliklerini veren süreçlerin de bozulması anlamına gelecektir.



Şekil 3.6 (a) İki çukuru bulunan bir Higgs alanının potansiyel enerji eğrisi. Evrenimizin bildiğimiz özellikleri soldaki çukurda bulunan Higgs alanıyla bağlantılıdır. Diğer evrende ise o evrene farklı fiziksel özelliklerini veren alan sağdaki çukura yerleşmiştir. **(b)** İki Higgs alanlı bir kurama göre örnek bir potansiyel enerji eğrisi.

Şekil 3.6a'da sadece içinde tek bir tür Higgs alanı bulunan en basit örnek gösterilmektedir. Ancak kuramsal fizikçiler daha karmaşık olan çoklu Higgs alanları senaryoları da düşünmüşlerdir (Sicim kuramında bu tür olasılıkların kendiliğinden doğduğunu göreceğiz.). Bu da birbirlerinden çok daha zengin çeşitli farklı baloncuk evrenlerin mümkün olacağı anlamına gelmektedir. Şekil 3.6b'de iki Higgs alanlı bir örnek gösterilmektedir. Daha önce de belirttiğimiz gibi, Higgs alanı değerlerinin birbirlerinden farklı çukurlarda bulunduğu farklı baloncuk evrenler yer alabilir.

Böyle değişik Higgs alanlarıyla kaplanmış diğer evrenler bizim evrenimizden, Şekil 3.7'de şematik olarak gösterildiği gibi, önemli farklılıklar sergileyeceklerdir. Bu da Şişme Evreli Çoklu Evren içinde bir yolculuğun ne kadar cesaret isteyen bir iş olduğunu anlatabilir. Bu evrenlerin pek çoğu yolunuzun düşmesini istemeyeceğiniz yerler olabilir, çünkü var olan koşullar yaşamda kalabilmeniz için gereken biyolojik süreçleri sağlamazlar. Hani derler ya, hiçbir yer insanın kendi evi gibi olmaz. Bu Şişme Evreli Çoklu Evren içinde kendi evrenimiz koskocaman ama hiç de dostluk uyandırmayan vahşi bir çöldeki vaha gibi olabilir.



Şekil 3.7 Alanlar faklı baloncuklarda değişik değerler alabileceği için Şişme Evreli Çoklu Evren'deki evrenler aynı temel fizik kurallarıyla işleseler bile farklı fiziksel görünüşlere sahip olabilirler.

Evrenlere Kısa Bir Bakış

Temel farklılıkları nedeniyle, Kapitone Çoklu Evren anlayışıyla Şişme Evreli Çoklu Evren anlayışı birbirlerinden oldukça bağlantısız gözükebilirler. Eğer evren sınırsız ve sonsuzsa, kapitone benzeri evren anlayışı ortaya çıkmaktadır. Şişme evreli evren anlayışı ise şişme sonucu sürekli olarak genişleyen bir evren demektir. Buna karşın, yine de bu iki anlayış arasında önceki iki bölümde anlatılanlar kapsamında son derece mantıklı bir bağlantı kurulabilir. Şişme sonucu ortaya çıkan paralel evrenler kendi kapitone benzeri evrenlerini doğurmaktadır. Süreç, zamana bağlı olarak gelişmektedir.

Einstein'ın ortaya attığı garip şeyler arasında kavranması en zor olanı zamanın akıcılığıdır. Gündelik yaşamımızda zaman nesnel bir kavramdır. Görelilik kuramı ise zamanın bize böyle gözükmesinin sebebinin yavaş tempoda ve düşük kütle çekiminde deneyimlenmesi olduğunu söyler. Işık hızına yaklaşsanız ya da kendinizi çok güçlü bir kütleçekimi ortamında bulsanız, o bildiğiniz zaman kavramı yerle bir olacaktır. Örneğin, benim bulunduğum yerden koşarak geçerseniz, benim aynı anda olduğu konusunda ısrar ettiğim şeyler size farklı anlarda olmuş gibi gelecek-

tir. Bir kara deliğin kenarındaysanız, sizin saatinize göre bir saatlik süre, benim saatime göre muazzam uzun bir zaman olacaktır. Bu bir sihirbaz ya da hipnotizmacı hilesi değildir. Zamanın akışı –izlenen yörünge ve etkisi altında kalınan kütleçekimine bağlı olarak– ölçümü yapan kişinin özel koşullarına bağlıdır.[12]

Tüm evren ya da şişme sonucu meydana gelen kendi baloncuk evrenimiz düşünüldüğünde, akla hemen şu soru gelecektir: Nasıl olur da böyle belirsiz ve duruma göre değişen bir zaman kavramı kozmolojik açıdan mutlak bir zaman kavramı ile bağdaşabilir? Bir yandan rahatlıkla evrenimizin "yaşı" hakkında fikir beyan ediyor, ama diğer yandan da gökadaların birbirlerinden olan uzaklıklarına bağlı olarak birbirlerine göre yüksek hızdaki hareketlerinden söz ediyorsak, zamanın akışıyla ilgili görelilik, kozmik zamanın muhasebesinde kâbus yaratmaz mı? Daha da açık belirtirsek, evrenimizin "14 milyar yaşında" olduğunu söylerken, bu süreyi ölçen özel bir saat mi kullanıyoruz?

Evet, kullanıyoruz. Böylesi bir kozmik zamanı dikkatlice incelersek, şişme kuramının paralel evrenleriyle kapitone modeli paralel evrenler arasında doğrudan bir bağlantı kurulabilmektedir.

Zaman akışını ölçmek için kullandığımız her yöntemde, belli bir fiziksel sistemde gerçekleşen değişiklikler dikkate alınmaktadır. Sıradan bir duvar saati kullandığımızda saatin akrep ve yelkovanının konumlarındaki değişmeyi dikkate alırız. Güneşi kullandığımızda güneşin gökyüzündeki konumunu dikkate almaktayız. Karbon-14 yöntemini kullandığımızda eski numunelerdeki radyoaktif bozulmanın oranına bakarız. Geçmişteki ve geneldeki zaman anlayışının, günlerin ve yılların hesabında olduğu gibi, dünyanın dönüşünü ve dolanımını temel alan bir yaklaşımla oluştuğunu görüyoruz. Ancak kozmik boyutta düşünürsek, zamanı belirlemede çok daha yararlı ve farklı bir yöntem bulunduğunu belirtmek gerekir.

Şişme evreli genişlemenin genelde her noktada aynı olan özellikler gösteren geniş bölgeler yarattığını gördük. Bir baloncuk evrendeki iki büyük ve ayrı bölgenin sıcaklığını, basıncını ve ortalama madde yoğunluğunu ölçün, sonuçlar örtüşecektir. Bu so-

nuçlar zamanla değişebilir, ama genel olarak ele alındıklarında bu geniş çaplı her yerde aynı olan özellikler, *belli bir yerdeki* değişikliğin *başka bir yerdeki* değişiklikle aynı olduğunu gösterir. Burada belirtilmesi gereken önemli bir nokta, kendi baloncuk evrenimizdeki kütle yoğunluğunun, uzayın devamlı genişlemesine bağlı olarak milyarlarca yıllık geçmişimiz içinde giderek azaldığıdır. Ancak bu azalma her noktada aynı değeri alarak gerçekleşmiş olduğundan, kendi baloncuk evrenimizin geniş ölçekli homojenliği bozulmamıştır.

Bu önemlidir, çünkü aynen organik maddelerde sürekli olarak azalan karbon-14 miktarının dünyadaki zamanın akışı hakkında ölçüm yapabilmemize olanak sağlaması gibi, sürekli olarak azalan kütle yoğunluğu da uzaydaki zaman akışı konusunda ölçüm yapabilmemize olanak sağlar. Değişim her yerde aynı biçimde olduğu için de zamanın akışı hakkında bilgi sunan kütle yoğunluğu baloncuk evrenimiz açısından bir standart oluşturur. Herkes saatini ortalama kütle yoğunluğuna göre ayarlasaydı (kara deliklere gidip geldikten ya da ışık hızında yolculuk ettikten sonra yeniden ayarlasa), baloncuk evrenimizin her yerinde eş zamanlılık sağlanabilirdi. Evrenin yaşından –yani kendi baloncuğumuzun yaşından– söz ederken zamanın akışını kozmik olarak ayarlanmış saatlerle ölçtüğümüzü varsayarız, çünkü kozmik zaman ancak bu tür saatlerle ölçüldüğünde bir anlam taşır.

Baloncuk evrenimizin ilk dönemlerinde de aynı mantık ufak bir farkla işlemiş olmalıdır. Bildiğimiz anlamda madde henüz oluşmamış olduğu için uzayda ortalama bir kütle yoğunluğundan söz edemeyiz. Bunun yerine, evrenimizin enerji deposunu –kısa süre sonra parçacıkları oluşturacak olan enerjiyi– inflaton alanı taşımıştır. Bu yüzden, o dönemlerle ilgili zaman akışı için saatlerimizi inflaton alanının enerjisine göre ayarlamamız gerekir.

Biliyoruz ki inflaton alanının enerjisi, enerji eğrisinde anlatıldığı gibi, bu alanın değeriyle ölçülmektedir. Baloncuk evrenimizin belli bir bölgesinde zamanı saptamak için, o bölgedeki inflaton değerini belirlememiz gerekir. O zaman, tıpkı aynı sayıda halkalara sahip iki ağacın aynı yaşlarda olduğunu söylemek ya

da iki ayrı buzul kalıntısının aynı oranda radyoaktif karbona sahip oldukları için aynı yaşta bulunduklarını söylemek gibi, *uzayda da iki bölge aynı inflaton değerine sahipse aynı zaman biriminden geçmekte oldukları* söylenebilir. Baloncuk evrenimizde saatlerimizi böyle ayarlarız.

Konuyu buralara taşımamın nedeni şudur: Şişme Evreli Çoklu Evren anlayışı bağlamında sözünü ettiğimiz gravyer peyniri düşünülürse, tüm bu gözlemlerin mantığa aykırı gelen bazı yanları bulunabilir. Hamlet'in "Bir ceviz kabuğu içinde olmama karşın, kendimi sonsuz bir uzayın kralı gibi hissedebilirim," sözündeki gibi, baloncuk evrenlerden her biri dışarıdan bakıldığında *sonlu* olarak, içerisinden bakıldığında *sonsuz* olarak gözükecektir. İşte bu fevkalade bir farkına varıştır. Kapitone paralel evrenler için sonsuz uzamsal genişlik gerekmektedir. Bu nedenle, Kapitone Çoklu Evren'i şişme evreli çoklu evren anlayışıyla bağdaştırabiliriz.

İçeriden ve dışarıdan bakan kişilerin bakış açıları önemli ölçüde farklılık taşıyacaktır, çünkü her ikisinde de farklı zaman algıları söz konusudur. Birazdan açıklayacağımız üzere, *dışarıdan bakan birisine zaman nasıl sonsuzmuş gibi geliyorsa, içeriden bakan birisine de zamanın her anında uzay sonsuzmuş gibi gelecektir.*[13]

Baloncuk Evrende Uzay

Konuyu anlamak için gözümüzde şöyle bir resim canlandıralım: Hızla genişleyen ve inflatonla dolu bir uzay alanı içinde yüzen Trixie, yakınlarda bir yerlerde bir baloncuk evrenin oluşumunu izlemektedir. Bu büyüyen baloncuğa yönelttiği inflaton ölçüm cihazına bakarak Trixie değişen inflaton alanının değerini takip edebilmektedir. Bölge –yani kozmik gravyerdeki delik– her ne kadar üç boyutlu ise de bölgeyi çapı üzerinden tek boyutlu kesitinden incelemek daha basit olduğu için Trixie de ölçüm bilgilerini Şekil 3.8a'daki gibi kaydeder. Her bir üst satır, Trixie'nin bakış açısından, birbirini izleyen zaman birimlerine göre inflaton değerini göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, Trixie baloncuk evrenin –şekilde inflaton değerinin düşük olduğu açık renkli yerlerin– giderek büyüdüğünü görecektir.

Şimdi de Norton'un aynı baloncuk evreni evrenin içerisinden izlediğini varsayalım. Norton, kendi inflaton ölçüm cihazıyla ayrıntılı uzay gözlemleri yapmakla meşguldür. Trixie'den farklı olarak Norton inflaton değerine göre ayarlanmış bir zaman anlayışına bağlı kalacaktır. Varmayı amaçladığımız sonuç açısından önemli olduğu için buna tam olarak inanmanız gerekiyor. O baloncuk evrendeki herkesin inflaton değerini gösteren bir kol saati olduğunu düşünün. Norton arkadaşlarını akşam yemeğine davet ettiğinde, inflaton değeri 60 olduğunda evinde olmalarını söyler. Herkesin saati her yerde aynı değeri alan standarda –inflatonun alan değerine– göre ayarlandığı için davetin başlama zamanında herhangi bir sıkıntı olmayacaktır. Herkes yemeğe zamanında gelir çünkü hepsinin eş zamanlılık anlayışı aynıdır.

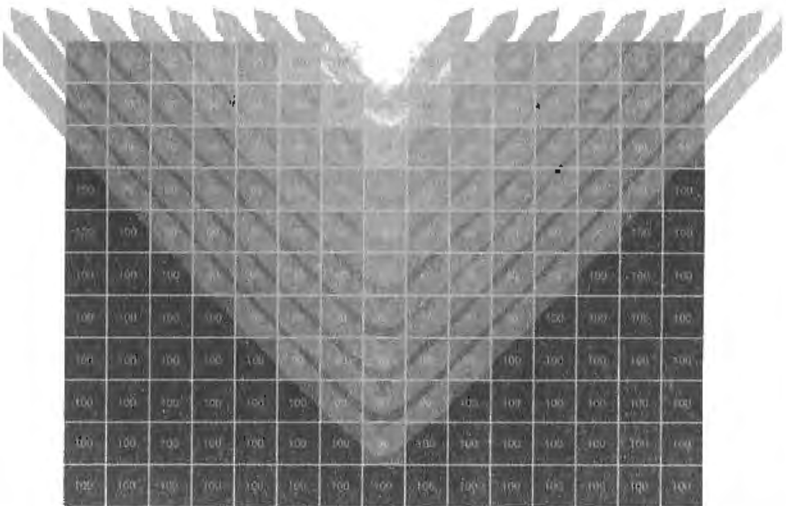
Şekil 3.8a Her bir sıra, dışardan gözlemleyen birinin bakış açısından belli bir zaman birimindeki inflaton değerini göstermektedir. Yukarıdaki sıralar daha sonraki anlara aittir. Sütunlar uzaydaki konumları göstermektedir. Baloncuklar, inflaton değerindeki düşme nedeniyle genişlemesi sona ermiş olan uzay bölgeleridir. Açık renk alanlar baloncuk içindeki inflaton alanının değerini göstermektedir. Dışarıdan bakan birinin gözünde baloncuk giderek büyür.

Böyle düşündüğümüzde, Norton için kendi zamanının herhangi bir anında baloncuk evrenin büyüklüğünü ölçmek hiç de zor değildir. Hatta çocuk oyuncağı gibidir. Norton'un bütün

yapması gereken, sayıların üstünü aynı renkle boyamaktır. İnflaton alanının sayısal değeri aynı olan noktalarını birleştirdiğinde, Norton belli bir zaman biriminde o baloncuk evrendeki tüm bölgeleri belirleyebilir. Yani kendi zamanında. İçeriden bakan birisinin zaman algısıyla.

Norton'un Şekil 3.8b'de yaptığı çizim durumu açıklar niteliktedir. Aynı inflaton değerine sahip noktaları birleştiren her bir eğri, belli bir zaman dilimindeki uzayı göstermektedir. Şekilden açıkça anlaşılabileceği gibi, her bir eğri sonsuz biçimde uzayacak, bu da baloncuk evrenin boyutunun, orada yaşayanlar için *sonsuz* olduğu anlamına gelecektir. Bu da göstermektedir ki Trixie gibi dışarıdan gözlemleyen biri için sonsuz olan zaman neyse, Norton gibi içeriden gözlemleyen biri için de her bir zaman diliminde izlenen sonsuz uzay odur.

Bu güçlü bir savdır. II. Bölüm'de, Kapitone Çoklu Evren'in sonsuz genişlikteki uzay anlayışına uygun olduğundan söz etmiştik. Orada tartıştığımız üzere, böyle olabilir de olmayabilir



Şekil 3.8b Şekil 3.8a'daki bilgiler burada baloncuk evrenin içerisinden bakan birinin algısına göre farklı biçimde düzenlenmiştir. Aynı inflaton değerleri zaman itibarıyla aynı anlar anlamına gelmektedir. Bu nedenle çizilen eğriler aynı anı gösteren uzamsal noktalardan geçmektedir. Daha küçük inflaton değerleri zaman itibarıyla daha sonraki anları göstermektedir. Eğriler sonsuz biçimde uzayıp gidebilecektir, dolayısıyla, içeriden bakan birinin gözünde uzay uçsuz bucaksız olacaktır.

de. Şimdi de görüyoruz ki Şişme Evreli Çoklu Evren modelinde her bir baloncuk evren, bu evrene dışarıdan bakan birinin gözüyle sınırlı, içeriden bakan birinin gözüyle ise sınırsız olarak algılanmaktadır. Eğer Şişme Evreli Çoklu Evren gerçekse bir baloncuk evrende yaşayanlar –yani bizler– yalnızca şişme evreli bir çoklu evrenin değil, aynı zamanda kapitone örtü benzeri bir çoklu evrenin de sakinleri oluyoruz.[14]

Bu iki çoklu evren modeli hakkında ilk bilgilerimi edindiğimde, Şişme Evreli Çoklu Evren bana daha mantıklı gelmişti. Şişme kozmolojisi bir yandan uzun süredir çözüm bekleyen bulmacaları çözmekte, öte yandan ileri sürdüğü öngörüler gözlem sonuçlarıyla örtüşmektedir. Bilgiye dayalı akıl yürütmelerimiz şişmenin hiç bitmeyen bir süreç olduğunu, baloncuk evren üzerine baloncuk evren ürettiğini söylemektedir –yaşadığımız evren de bu baloncuk evrenlerden bir tanesidir. Diğer yandan, Kapitone Çoklu Evren'de uzayın yalnızca geniş olmayıp aynı zamanda sonsuz olduğu (Geniş bir evrende de tekrarlanma olabilir ama sonsuz bir evrende tekrarlanma olacağı kesindir.) kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır: uzayın sonlu olması da elbette mümkündür. Ancak anladığımız şu ki orada yaşayanların bakış açılarından söylemek gerekirse, ebedi şişmenin baloncuk evrenlerinde uzay *sonsuzdur*. Şişme evreli paralel evrenler kapitone paralel evrenleri doğururlar.

Elimizdeki en iyi verileri açıklamak için kullanacağımız en iyi kozmolojik kuram sonuçta bize, içinde kapitone örtü modelindeki gibi çok sayıda kendi paralel evrenlerini barındıran şişme evreli paralel evrenlerden oluşmuş daha büyük bir sistemi işaret etmektedir. Bu yöndeki en ileri düzey araştırmalar yalnızca paralel evrenlerin varlığını değil, paralel paralel evrenlerin olduğunu belirtmektedir. Bu da gerçekliğin yalnızca geniş bir alanı kaplamadığına, akıl almaz bir genişlikte olduğuna işaret etmektedir.

IV. Bölüm

Doğa Yasalarını Birleştirmek

Sicim Kuramına Doğru

Büyük patlamadan şişmeye, modern kozmoloji aslında tek bir bilimsel temele dayanmaktadır: Einstein'ın genel görelilik kuramı. Yeni kütleçekimi kuramıyla Einstein uzaya ve zamana ilişkin kesin ve sorgulanmaz kavramları altüst etmiş, bilim artık daha dinamik bir kozmos anlayışını benimsemiştir. Bilime bu ölçekte yapılmış katkı nadirdir. Buna karşın Einstein çok daha fazlasını gerçekleştirmeyi düşünüyordu. 1920'lere kadar edindiği matematik bilgisi ve geometrik öngörüsüyle bir *birleşik alan kuramı* geliştirmek için işe koyuldu.

Bu biçimde, Einstein doğanın tüm kuvvetlerini tek ve kapsamlı bir çerçeve içinde açıklayabilmeyi hedefliyordu. Bazı fiziksel olgular için belli bir grup yasa, bazı başka fiziksel olgular için başka bir grup yasa olmasındansa, Einstein tüm yasaları açıklayıcı tek ve bütüncül bir yasada birleştirmek arzusundaydı. Bu konuda onlarca yıl süren yoğun gayretleri fazlaca bir sonuç getirme-

di –yüce amaçları olan ancak epeyce erken kurulmuş bir hayaldi. Ancak kendisinden sonrakiler bu amaca yönelik çalışarak önemli adımlar attılar. Bunların içinde en kapsamlısı *sicim kuramı*dır.

Önceki kitaplarım *Evrenin Zarafeti* ve *Evrenin Dokusu*'nda sicim kuramının tarihsel gelişimi ve temel özellikleri açıklanmaktadır. Kitapların çıktığı yıllardan bu yana kuramın genel geçerliği ve konumu geniş ölçüde sorgulanmaktadır. Bu da son derece anlaşılır bir durumdur. Tüm gelişimine karşın sicim kuramı deneysel araştırmalarla sınanabilecek öngörülere ihtiyaç duymaktadır. Daha sonra göreceğimiz üç farklı çoklu evren modeli (V. ve VI. Bölümler) sicim kuramına dayandığı için, kuramın hem şu andaki durumuna hem de deneysel ve gözlemsel verilerle ilgili beklentilere değinmek önem taşımaktadır. Bu bölümün amacı da budur.

Birleştirici Yaklaşımın Kısa Tarihçesi

Einstein birleştirici bir kuram oluşturma gayreti içindeyken, bilinen kuvvetler, kendi görelilik kuramında tanımladığı kütleçekimi kuvveti ve Maxwell'in denklemleriyle tanımlanan elektromanyetizmaydı. Einstein'ın düşüncesi bu ikisini doğadaki tüm kuvvetleri açıklayacak tek bir matematiksel ifadede birleştirmekti. Bu konuda güçlü umutlar besliyordu. Einstein, Maxwell'in on dokuzuncu yüzyılda yapmış olduğu birleştirici çalışmayı bu yöndeki sürecin bir başlangıcı olarak görüyordu. Öyleydi de. Maxwell'den önce, bir telden geçen elektrik, bir çocuğun mıknatısının oluşturduğu çekim, güneşten dünyaya düşen ışınlar gibi olaylar birbirleriyle ilgisi olmayan ayrı ayrı olaylar olarak görülüyordu. Oysa Maxwell bu olayların gerçekte birbirleriyle yakından ilintili bilimsel bir üçleme olduğunu ortaya koymuştu. Elektrik akımları manyetik alanlar *oluşturuyor*; bir telin yakınında hareket eden mıknatıs elektrik akımı *üretiyor*; elektrik ve manyetik alanlarda kıpırdaşan dalga benzeri tedirgemeler ışığı *meydana getiriyordu*. Einstein kendi çalışmalarıyla Maxwell'in bütünleştirici çalışmalarını ileriye taşıyarak elektromanyetizma ve kütleçekimini tek çatı altında toplayacak kapsamlı bir tanımlamayı başarabileceğini düşünüyordu.

Bu pek de mütevazı bir amaç değildi elbette. Zaten Einstein da işin zorluğunun farkındaydı. Kafasını taktığı bir konu üzerine yoğunlaşmada üstüne yoktu, bu nedenle de yaşamının son otuz yılını tamamen bu konuya verdi. Özel sekreteri Helen Dukas'ın anlattığına göre, ölümünden bir gün önce 17 Nisan 1955'te Princeton Hastanesi'nde Einstein tüm halsizliği içinde gücünü toplayıp birleşik alan kuramına dair giderek zayıflayan ümitleri içinde, üzerinde matematik sembollerini değiştirerek dur durak bilmeden çalıştığı denklemlerini yazdığı kâğıtlarını istemişti. Ne yazık ki Einstein ertesi sabah güneşin ilk ışıklarını göremedi. Son karalamaları da birleştirme çabalarına ışık tutamamıştı.[1]

Einstein'ın çağdaşlarından sadece birkaçı onun birleştirme kuramı konusundaki tutkusunu paylaştı. 1920'lerin ortalarından 1960'ların ortalarına kadar, kuantum kuramının rehberliğinde fizikçiler atomun sırlarını çözmeye ve sahip olduğu gizli güçleri anlamaya çalıştılar. Maddenin bileşenlerini izlemek yeterince çarpıcıydı. Pek çok kişi Einstein'ın çalışmalarının önemli bir amaca hizmet ettiğini düşünse de bu amaç geçen zaman içinde önemini yitirdi. Kuramcı ve araştırmacılar daha çok mikroskobik âlemin özelliklerini açığa çıkarmaya yoğunlaştılar. Einstein'ın ölümüyle birlikte birleştirme çabaları da duraklamış oldu.

Bir zaman sonra bu konunun tekrar ele alınması üzerine yapılan çalışmalar gösterdi ki Einstein'ın birleştirici çalışmaları aslında oldukça dar bir çerçevede kalmıştı. Einstein yalnızca kuantum fiziğinin rolünü önemsememekle kalmamış (Birleşik bir kuramın kuantum mekaniğinden üstün olacağına, bu nedenle de kuantum mekaniğine ihtiyaç duyulmayacağına inanıyordu.), deneylerle ortaya konulmuş iki önemli kuvveti de dikkate almamıştı: Bu güçler *güçlü (yeğin) nükleer kuvvet* ve *zayıf nükleer kuvvetti*. Güçlü nükleer kuvvet, atomların çekirdeklerini bir arada tutan, zayıf nükleer kuvvet ise diğer özelliklerinin yanı sıra, radyoaktif bozunmaya neden olan kuvvetti. Birleştirme yalnızca iki kuvvetin değil, dört kuvvetin de birleştirilmesini gerektiriyordu. Einstein'ın düşünceleri gerçekleşmeyecek hayallerdi.

Ne var ki 1960'ların ve 1970'lerin sonlarına doğru her şey birden tersine dönüverdi. Fizikçiler fark ettiler ki kuantum alan kuramının elektromanyetik kuvvet üzerinde başarıyla uygulanan yöntemleri zayıf ve güçlü nükleer kuvveti de tanımlıyordu. Kütleçekimi dışındaki bu üç kuvvetin hepsi de aynı matematiksel dil kullanılarak açıklanabiliyordu. Dahası, bu kuantum alan kuramları üzerinde yapılan ayrıntılı çalışmalar –özellikle Sheldon Glashow, Steven Weinberg ve Abdus Salam'ın Nobel ödülü kazanan çalışmaları ile Glashow ve Harvard'lı meslektaşı Howard Georgi'nin daha sonra ortaya koydukları görüşler– elektromanyetik, zayıf ve güçlü nükleer kuvvetler arasında potansiyel bir birlik olduğunu ortaya koyuyorlardı. Einstein'ın neredeyse yarım asırlık çalışmalarının önderliğinde, kuramcılar bu görünüşte ayrı üç kuvvetin aslında tek bir doğa kuvvetinin tezahürleri olduğunu belirtiyorlardı.[2]

Tüm bunlar birleştirme amacına yönelik önemli ilerlemelerdi, ama ortada hâlâ çözülemeyen rahatsız edici bir sorun vardı. Bilim insanları kuantum alan kuramını dördüncü kuvvete, yani kütleçekimine uyguladıklarında matematik işlemiyordu. Kuantum mekaniğini ve kütleçekimi alanının Einstein'ın genel göreliliği çerçevesindeki ifadesini içeren hesaplamalar matematiksel açıdan uyumsuz sonuçlar veriyordu. Genel görelilik ve kuantum mekaniği tanımlandıkları ölçeklerde –büyük ve küçük– ne kadar başarılı sonuçlar vermiş olsalar da bunları birleştirme çabaları doğa yasaları anlayışında derin bir çatlağa işaret etti. Elinizdeki yasalar birbirleriyle bağdaşmıyorsa, o zaman –açıktır ki– bunlar doğru yasalar değildir. Birleştirme, estetik bir amaçtı; şimdi ise mantıksal bir zorunluluk olmuştu.

1980'lerin ortalarında bir sonraki çok önemli gelişmeye şahit olundu. Dünyadaki tüm fizikçiler yeni bir yaklaşıma, *süpersicim kuramı*na dikkat kesildiler. Bu yaklaşım, genel görelilik ve kuantum mekaniği arasındaki uyuşmazlığı düzelterek kütleçekiminin kuantum mekaniği ile bütünleşmesinin yolunu açabilecekti. Artık süpersicim kuramı devri başlamıştı. Araştırmalar inanılmaz bir hızla yol alırken, bilimsel dergilerde kuramı tanıtan ve sistematik yapılanmasını anlatan binlerce sayfa makale yayınla-

nıyordu. Çarpıcı ve karmaşık matematiksel yapısı ortaya konulmuş olsa da süpersicim kuramı (kısaca, *sicim kuramı*) kapsamındaki pek çok şey bilinmezliğini hâlâ sürdürüyordu.[3]

Daha sonra, 1990'ların ortalarında, kuramcıların bu bilinmezleri çözme çabaları sicim kuramını birden çoklu evren konusuna çekiverdi. Araştırmacılar sicim kuramı konusunda kullanılan matematiksel yöntemlerin bir dizi yeni olasılık için altyapı sağladığını zaten biliyorlardı. Bu olasılıkların bazıları ele alınınca, araştırmacılar matematiğe dayanarak kendi evrenimizin aslında bir çoklu evrenin parçası olabileceğini fark ettiler. Hatta sicim kuramının matematiği, evrenimizin bir parçası olarak yer aldığı tek bir çoklu evrenin değil, farklı türlerde birçok çoklu evrenin bulunabileceğini ortaya koydu.

Tartışmaya açık ve merak uyandırıcı bu gelişmeleri tam olarak anlayabilmek ve kozmosun örtük yasaları arayışımızdaki rollerini görebilmek için bir adım geriye gidip önce sicim kuramının ne olduğuna bir bakmamız gerekecek.

Kuantum Alanlarının Yeniden Ele Alınması

Önce, son derece başarılı bir çerçevesi olan geleneksel kuantum alan kuramıyla başlayalım. Bu, bizi hem sicim birleştirmesi tartışmasına hem de doğanın yasalarını formüle etmek için geliştirilen iki yaklaşım arasındaki bağlantıları anlamaya hazırlayacaktır.

Klasik fizik –III. Bölüm'de gördüğümüz gibi– bir alanı, çalkantı ya da dalgalar biçimindeki tedirgemeleri taşıyan ve uzaydaki bir bölgeyi saran bir tür pus gibi tanımlar. Maxwell, söz gelimi, şu an bizi aydınlatmakta olan ışığı tanımlayacak olsaydı, güneşten ya da yakındaki bir ampulden gelen inişli çıkışlı elektromanyetik dalgalara odaklanacaktı. Bu dalgaların hareketlerini, alanın uzayın her noktasındaki şiddetini ve yönünü tanımlayarak matematiksel olarak açıklayacaktı. Böyle dalgalanan bir alan inişli çıkışlı sayılar anlamına gelecektir: Alanın belli bir bölgedeki sayısal değeri de yükselip alçalacaktır.

Kuantum mekaniği, alan kavramına uygulandığında, sonuç, iki yeni ana özelliği barındıran kuantum alan kuramıdır. Aslında bu

iki özelliği daha önce gördük ama hatırlatmakta yarar var. Birincisi, kuantum belirsizliği bir alanın uzayın her noktasındaki değerinin gelişigüzel biçimde titremesine neden olur –şişme kozmolojisinde kararsız bir şekilde salınan inflaton alanını hatırlayın. İkincisi, kuantum mekaniğine göre, tıpkı suyun H_2O moleküllerinden oluşması gibi, bir alan da *kuanta* denilen son derece küçük parçacıklardan oluşmaktadır. Bir elektromanyetik alan söz konusu olduğunda kuanta fotonlardır. Bu nedenle, bir kuantum kuramcısı Maxwell'in tanımladığı elektrik ampulünü, saniyede 100 milyar kere milyar foton salan kesintisiz bir kaynak olarak tanımlayacaktır.

Yıllardır yapılan araştırmalar da göstermiştir ki kuantum mekaniğinin alanlara uygulanan bu özellikleri tümüyle genel özelliklerdir. Her alan kuantum titremelerine açıktır. Her alanın da kendine özgü bir parçacığı vardır. Elektronlar elektron alanının kuantasıdır. Kuarklar ise kuark alanının kuantasıdır. Gözümüzde biraz daha kabaca canlandırmak istersek, fizikçilerin ilgilendikleri alanın parçacıklarını bazen alandaki düğümlere ya da topaklara benzettiklerini söyleyebiliriz. Bu benzetmeye bakılmaksızın, kuantum alan kuramının matematiği bu parçacıkları uzamsal boyutları ve kendi iç yapıları olmayan noktalar olarak ifade eder.[4]

Kuantum alan kuramına olan güvenimizin ardında önemli bir gerçek yatmaktadır: Şu ana kadar bu kuramın öngörülerini geçersiz kılacak herhangi bir deneysel sonuç elde edilememiştir. Tam tersine, veriler kuantum alan kuramı denklemlerinin parçacık hareketlerini inanılmaz bir tutarlılıkla tanımladığını göstermektedir. En çarpıcı örnek ise elektromanyetik kuvvetin kuantum alan kuramından, yani *kuantum elektrodinamiği*nden gelmektedir. Fizikçiler bu kuramı kullanarak elektronların manyetik özellikleri hakkında ayrıntılı hesaplamalar yapmışlardır. Bu hesaplamalar gerçekten zor hesaplamalardır. Bu hesaplamaların yüksek kesinlikte sonuçlar hedefleyen versiyonlarının tamamlanabilmesi uzun yıllar almış olsa da sonuçlar verilen emeklere değmiştir. Sonuçlar, gerçek ölçümlerle on tane ondalık basamak düzeyinde kesinlik taşıyacak kadar uyumlu olup kuramla deney arasında akıl almaz bir örtüşme söz konusudur.

Böylesi başarılı sonuçlara dayanarak kuantum alan kuramının doğanın tüm yasalarını matematiksel olarak açıklayabildiğini düşünebilirsiniz. Bir grup tanınmış fizikçi de böyle düşünmüştür. 1970'lerin sonlarına doğru, bu fizikçilerin yoğun çalışmaları sonucu zayıf ve güçlü nükleer kuvvetlerin kuantum alan kuramıyla tamamen açıklanabildiği ortaya konulmuştur. Her iki kuvvet de kuantum alan kuramının matematiksel kurallarına uygun biçimde evrilen ve etkileşen alanlar –zayıf ve güçlü alanlar– olarak tanımlanabilmektedir.

Ancak, daha önce tarihsel gelişim kapsamında belirttiğim gibi, bu fizikçilerin birçoğu doğanın diğer bir kuvvetinin, yani kütleçekiminin, öyküsünün çok daha üstü kapalı olduğunu hemen fark etmişlerdir. Genel görelilik denklemlerinin kuantum kuramı denklemleriyle her kaynaşmasında matematik uyuşmazlık göstermiştir. Herhangi bir fiziksel sürecin kuantum olasılığını hesaplamak için birleştirilmiş denklemleri kullanırsanız –elektromanyetik itme ve kütleçekimsel çekme söz konusu olduğunda, iki elektronun birbirlerinden sekme olasılığı gibi– elde edeceğiniz sonuç *sonsuz* olacaktır. Uzayın genişliği ve uzayı dolduran maddelerin sayısı gibi evrende sonsuz olan bazı şeylerden söz edebilsek de olasılık bunlardan biri değildir. Tanımı gereği, olasılığın değeri 0 ile 1 arasındadır (ya da yüzde ile ifade edersek, 0 ile 100 arasında). Sonsuz bir olasılık, o şeyin gerçekleşmesi olasılığının yüksek olduğu ya da kesin gerçekleşeceği anlamına gelmez; daha ziyade anlamsızdır, tıpkı bir düzine yumurtadan bahsederken on üçüncü yumurtayı belirtmek gibi. Sonsuz olasılık net bir matematiksel mesaj verir. O da şudur: Birleşik denklemler anlamsızdır.

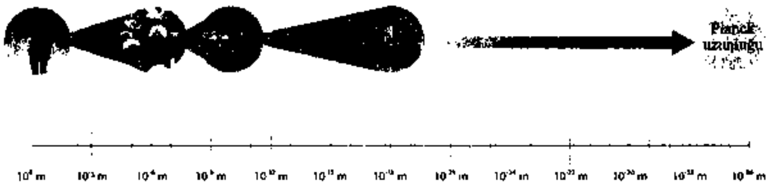
Fizikçiler bu başarısızlığı kuantum belirsizliğinden kaynaklanan titremelere bağladı. Güçlü, zayıf ve elektromanyetik alanlardaki titremeleri çözümleyebilmek amacıyla matematiksel teknikler geliştirilmiş olsa da bu teknikler kütleçekimi alanına –uzay-zamanın bükülmesini yöneten alan– uygulandığında bir açıklama getirememektedirler. Bu da matematiği sonsuz olasılıklar gibi tutarsız sonuçlara götürmüştür.

Bunun nedenini anlamak için şöyle bir örnekten yola çıkabiliriz. Diyelim ki San Francisco'da eski bir evin sahibisiniz. Durmadan gürültülü partiler düzenleyen kiracılarınız varsa, bu durumu düzeltmek sizi biraz yorabilir ama bu gürültülü partilerin sonuçta binanızın temeline bir zarar vermeyeceğini bilirsiniz. Bununla birlikte, bir deprem olursa, çok daha ciddi bir sorunla karşı karşıya kalacağınızın bilincindesinizdir. Kütleçekimi dışındaki üç kuvvetin dalgalanması –uzay-zaman evinin içindeki kiracılar, yani alanlar– evinizde durmadan parti düzenleyen kişiler gibidir. Kuramsal fizikçiler bu titremelerle bir nesil boyunca uğraşmışlar, 1970'lere gelindiğinde kütleçekimi dışındaki kuvvetlerin kuantum özelliklerini tanımlayacak matematiksel yöntemleri geliştirebilmişlerdir. Oysa kütleçekimi alanının dalgalanmaları çok farklı niteliktedir. Tıpkı depreme benzerler. Kütleçekimi alanı uzay-zamanın dokusu içine işlemiş olduğundan, bu alandaki titremeler tüm yapıyı baştan başa sarsar. Böylesi her tarafa yayılmış titremeleri çözümlemek için yola çıkıldığında, matematiksel yöntemler etkisiz kalmıştır.[5]

Yalnızca çok uç koşullarda ortaya çıktığı için fizikçiler yıllarca bu sorunu görmezden gelmişlerdir. Kütleçekimi çok büyük kütleler için, kuantum mekaniği ise tersine çok küçük şeyler için söz konusudur. Hem küçük hem de büyük miktarda kütle içeren, bu nedenle de tanımlamak için hem kuantum mekaniğine hem de genel göreliliğe başvurmanızı gerektirecek bölgelerin varlığı çok nadirdir. Ancak böyle bölgeler vardır. Kütleçekimi ve kuantum mekaniğinin ikisi birlikte muazzam büyüklükteki bir kütlenin küçük bir boyuta sıkışması anlamına gelen büyük patlama ya da kara delikler konusuna uygulandığında, matematik bizi evrenin nasıl başladığına ve bir kara deliğin içinde nasıl sona erebileceğine ilişkin yanıtsız sorularla baş başa bırakmaktadır.

Dahası, kara delikler ve büyük patlama konularının ötesinde işin gerçekten akıl almaz yanı, kütleçekimi ve kuantum mekaniğinin önemli bir rol oynayabilmesi için fiziksel bir sistemin ne kadar kütleli ve ne kadar küçük olabileceği konusunda ortaya konulan hesaplamalardır. Sonuç ise tek bir proton kütlesinin

yaklaşık 10^{19} katı *Planck kütlesi* olarak adlandırılır; 10^{-99} santimetreküp civarında inanılmaz derecede küçük bir hacme (yaklaşık olarak Şekil 4.1'deki grafikle gösterilen ve *Planck uzunluğu* denilen 10^{-33} santimetrelik yarıçapa sahip bir küreciğe) sıkıştırılmalıdır.[6] Buna göre, kuantum kütleçekiminin egemenlik alanı, dünyanın en güçlü hızlandırıcılarıyla erişilebilecek ölçeklerin milyon kere milyar katından bile ötededir. Bu henüz keşfedilmemiş muazzam genişlikteki arazi, başka alanlarla, onların parçacıklarıyla ve kim bilir başka nelerle doludur. Kütleçekimini ve kuantum mekaniğini birleştirmek, buradan oraya ulaşmayı, büyük kısmına deneysel olarak erişilemeyen bu muazzam aralıkta bilineni ve bilinmeyeni kavramayı gerektirmektedir. Bu son derece iddialı bir iştir ve pek çok bilim insanı bunun erişimimiz dışında olduğuna hükmetmiştir. Bu nedenle 1980'lerin ortalarında doğa yasalarının birleştirilmesine yönelik kuramsal bir devrim olarak nitelendirilen ve adına sicim kuramı denilen bir yaklaşım geliştirildiğine dair söylentiler başladığında fizik çevrelerinin gösterdiği şaşkınlığı ve kuşkuyu anlayabilirsiniz.



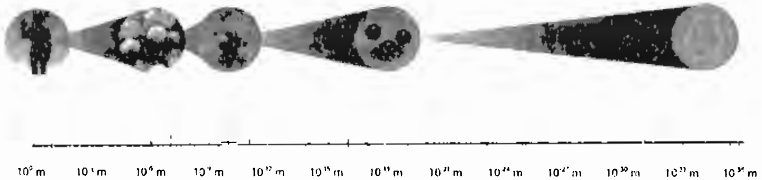
Şekil 4.1 Kütleçekimiyle kuantum mekaniğinin buluştuğu Planck uzunluğu, deneysel olarak erişilebilmiş herhangi bir uzunluktan 100 milyar kere milyar defa daha küçüktür. Şekilde, eşit aralıklı çizgilerin her biri 1000 kat boyutunda bir küçülmeyi temsil etmektedir. Bu ölçek her ne kadar bir kâğıdın boyutları içinde biçimsel olarak gösterilebiliyorsa da gerçekteki olağanüstü ölçeği yansıtmamaktadır. Belki şöyle söylenirse daha iyi anlaşılabilir: eğer bir atom gözlenebilir evren boyutunda büyütülebilseydi, bu oranda bir büyütme ancak Planck uzunluğunun ortalama bir ağacın uzunluğu kadar olmasını sağlardı.

Sicim Kuramı

Sicim kuramının ürkütücü bir şöhreti olsa da ana fikri son derece basittir. Sicim kuramından önce standart görüş, doğadaki temel yapı taşlarının kuantum alan kuramının denklemleriy-

le açıklanan parçacıklar –içsel yapıları olmayan noktacıklar– olduğunu öngörüyordu. Her bir parçacık türü kendi alanına özgü karaktere sahipti. Sicim kuramı bu görüşü sorgulamakta ve parçacıkların noktacıklar olmadığını ileri sürmektedir. Kurama göre parçacıklar, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, titreşen, küçük ve sicim benzeri telciklerdir. Kuram, temel olduğu kabul edilen herhangi bir parçacığı yeterince yakından incelediğinizde çok küçük, titreşen bir sicim göreceğinizi söyler. Bir elektronun ta içine bakın bir sicim göreceksiniz; yine bir kuarkın ta içine bakın yine bir sicim göreceksiniz.

Kuram yine der ki eğer çok daha hassas bir gözlem yaparsanız, farklı parçacıklardaki sicimlerin özdeş olduklarını –bu sicim kuramı çerçevesindeki birleştirmenin ana temasıdır– ancak farklı biçimde titreştiklerini görürsünüz. Bir elektronun kütlesi kuarktan daha küçüktür. Sicim kuramına göre bu durum, elektronun siciminin kuarkın siciminden daha az bir enerjiyle titreştiği anlamına gelir ($E=mc^2$ denklemindeki enerji kütle eşdeğerliği). Elektronun elektrik yükünün değeri de kuarkınkinden büyüktür. Bu da her birine ait sicimlerin titreşim örüntülerinde farklılıklara karşılık gelir. Nasıl ki bir gitardaki tellerin farklı titreşim örüntüleri farklı sesler çıkarıyorsa, sicim kuramındaki telciklerin de farklı titreşim örüntüleri farklı parçacık özelliklerinin doğmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.2 Sicim kuramının Planck ölçeğindeki fiziksel olgulara dair açıklaması, maddenin temel yapı taşlarının sicim benzeri telcikler olduğu şeklindedir. Bizim doğayı gözlemek için kullandığımız ekipmanların sınırlı çözünürlüğü nedeniyle bu sicimler noktalar olarak gözükmektedir.

Hatta kuram bize, titreşen bir sicimin sadece parçacığın özelliklerini belirleyici bir rol oynamadığını, aslında parçacığın *ken-*

disi olduğunu söylemektedir. Son derece küçük –Planck uzunluğunda, 10^{-33} santimetre– olan boyutu nedeniyle, bugün en hassas deneyler bile sicimin yapısını ayrıntılı olarak belirleyememektedir. Hareketsiz tek bir protonda bulunan enerjinin 10 trilyon katının ötesinde bir enerjiyle parçacıkları çarpıştıran Büyük Hadron Çarpıştırıcısı deneyi bile ancak 10^{-19} santimetrelik bir ölçeğe inebilmektedir. Bu, bir saç telinin kalınlığının milyon kere milyarda biri demek olsa da Planck uzunluğundaki olguları çözümlemek için yine de çok *büyük* kalmaktadır. Plüton'dan bakıldığında dünya nasıl bir nokta gibi gözükecekse, sicimler de dünyanın en gelişmiş parçacık hızlandırıcısı ile bile incelense yine bir nokta gibi gözükecektir. Buna rağmen, sicim kuramına göre, parçacıklar aslında sicimlerdir.

Sicim kuramı kısaca budur.

Sicimler, Noktalar ve Kuantum Kütleçekimi

Sicim kuramının belirtilenler dışında daha pek çok temel özelliği bulunmaktadır. İlk ortaya atıldığı zamandan bu yana kuram buraya kadar sözünü ettiklerimin ötesinde oldukça geliştirilmiştir. Bu bölümün devam eden sayfalarında (aynı zamanda V.,VI. ve IX. bölümlerde), kuramla ilgili en önemli gelişmelere değineceğiz. Ancak burada birbirleriyle ilgili üç önemli noktayı vurgulamak istiyorum.

Birincisi, bir fizikçi kuantum alan kuramına dayanarak doğayla ilgili bir model önerecekse, bu kuramın önce hangi alanları barındıracağına karar vermelidir. Bu kararda, deneysel kısıtların yanı sıra (bilinen belli bir parçacık türü ona ait bir kuantum alanının dikkate alınmasını gerektirir), kuramla ilgili sorunlar da önem taşır (varsayımsal parçacıklar ve bunların ilgili olduğu alanlar, örneğin inflaton ve Higgs gibi alanlar, çözülmesi gereken problemler için ortaya atılmışlardır). Buna en iyi örnek Standart Modeldir. Tüm dünyadaki parçacık hızlandırıcıları ile elde edilen verileri doğrulukla yorumlayabilme kapasitesi nedeniyle yirminci yüzyıl parçacık fiziğinin en büyük başarısı olarak kabul edilen Standart Model, *elli yedi* ayrı kuantum alanı barındı-

ran bir kuantum alan kuramıdır (elektron, nötrino, foton ve çeşitli kuarklara –yukarı kuark, aşağı kuark, tılsım kuark ve benzeri– ilişkin alanlar). Kuşkusuz, Standart Model son derece başarılı bir modeldir, ancak pek çok fizikçiye göre tamamen temel bir kavrayışta bu kadar çok ögeye gerek duyulmaması gerekir.

Sicim kuramının ilginç yanı, parçacıkların kuramın kendisiyle açıklanabilmesidir: Birbirlerinden farklı parçacık türlerinin bulunmasının nedeni, sicimin birbirinden farklı titreşim örüntüleri bulunmasıdır ve her bir parçacık farklı bir örüntüden ortaya çıkar. Titreşim örüntüleri ilgili parçacığın özelliklerini belirlediği için, tüm farklı titreşim örüntülerini tanımlayabilecek şekilde kuramı anlamışsanız, *tüm* parçacıkların *tüm* özelliklerini de açıklamış olursunuz. Bu yüzden sicim kuramı, parçacıkların tüm özelliklerini matematiksel olarak ortaya koyarken, kuantum alan kuramını aşan bir potansiyele ve hedefe de sahip olduğunu göstermektedir. Bu da her şeyin yalnızca titreşen sicimler şemsiyesi altında birleştirilmesi anlamına gelmemekte, aynı zamanda, şu anda bilinmeyen ileride keşfedilebilecek parçacık türlerinin de en baştan sicim kuramın yapısında var olduğu ve yeterince teknik hesaplamalarla prensipte bunların varlığını göstermenin mümkün olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle sicim kuramı, doğa yasalarını kesin ifadelerle tanımlama arayışını üst üste ekleyerek yavaş yavaş sürdürmek yerine, bu işi en başından tek seferde yapmaya çalışan bir kuram olma niteliği göstermektedir.

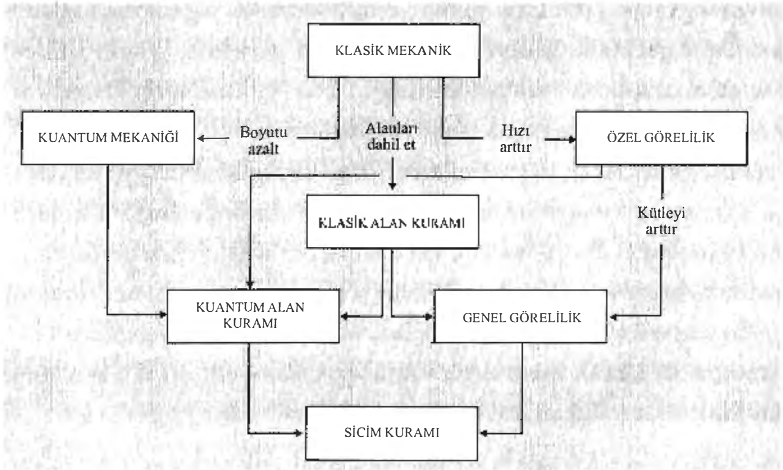
Kuramın ikinci önemli noktası, sicimin bilinen titreşimleri içinde, kütleçekimi alanının kuantum parçacığı olarak tanımlanabilecek bir titreşimin bulunmasıdır. Kütleçekimi ve kuantum mekaniğini birleştirmeye çalışan sicim kuramı öncesi çalışmaların başarısız olmasına rağmen, yapılan araştırmalar kütleçekimi alanı ile ilintili olduğu varsayılan ve *graviton* olarak adlandırılan bir parçacığın özelliklerini ortaya çıkarmıştır. Çalışmalar, gravitonun kütlesiz ve yüksüz olması gerektiğini ve *spin (dönü)* adı verilen bir kuantum mekaniği özelliğine sahip olduğunu ve bu özelliğin değerinin 2 olması gerektiğini (dönü-2 olarak bilinir) ortaya koymuştur. (Kabaca söylemek gerekirse, graviton, foton dö-

nüsünün iki katı bir hızla dönen bir topaç gibi olmalıdır.)[7] İlk sicim kuramcıları –John Schwarz, Joël Scherk, ve onlardan bağımsız çalışan Tamiaki Yoneya– müthiş bir buluşla, sicimin titreşim örüntülerinin içinde yer alan ve graviton özellikleri gösteren bir örüntünün varlığını ortaya koymuşlardır. Hem de son derece kesin biçimde. 1980'lerin ortalarında, sicim kuramının matematiksel anlamda tutarlı bir kuantum mekaniği kuramı olduğuna ilişkin inandırıcı savlar ortaya konulunca (daha çok Schwarz ve birlikte çalıştığı Michael Green'in çalışmalarıyla), gravitonların varlığı, *sicim kuramının, uzun süredir aranan kütleçekiminin kuantum kuramı* anlamına da geldiğini teyit etti. Bu, sicim kuramının gelişimi içindeki en büyük başarıdır ve kuramın dünya çapında çabucak bilimsel önem kazanmasının nedenidir.*[8]

Üçüncüsü, sicim kuramı ne kadar radikal bir bakış açısı getirirse getirsin, fizik tarihindeki önemli kuramların temellerini de dikkate almaktadır. Başarılı yeni kuramlar çoğu kez kendilerinden önceki kuramları geçersiz kılmazlar. Bunun yerine, başarılı kuramlar kendilerinden önceki kuramları da kucaklayarak fiziksel olgulara çok daha geniş ve kapsamlı bir açıklama sağlarlar. Özel görelilik, yüksek hızlara; genel görelilik (güçlü kütleçekimsel alanların hüküm sürdüğü) büyük kütlelere; kuantum mekaniği ve kuantum alan kuramı kısa mesafelere yönelik anlayışların gelişmesini sağlamışlardır. Bu kuramların ortaya koyduğu kavramlar ve açıkladıkları özellikler daha önce öngörülenlere hiç benzemez. Buna karşın, bu kuramları alıp gündelik hayatımızdaki hız, boyut, kütle gibi olgulara uyguladığınızda, yirminci yüzyıl öncesinde geliştirilmiş kuramların klasik tanımlarıyla – Newton'un klasik mekaniği, Faraday, Maxwell ya da diğerlerinin klasik alan kuramları– uyum içinde olduklarını görürüz.

* Sicim kuramının kütleçekimi ve kuantum mekaniğini bağdaştırmaya yönelik daha önceki çabalardaki sorunları nasıl aştığını öğrenmek isterseniz, Evrenin Zarafeti kitabında VI. Bölüm'e; bu konuyla ilgili ana çizgiler için 8. Not'a bakabilirsiniz. Çok daha kısa bir açıklama yapmak gerekirse, noktasal parçacıklar sadece tek bir noktada varken, sicimler bir miktar uzanıma sahiptir, çünkü uzunlukları vardır. Daha önceki çalışmaların başarısız olmasının arkasında yatan kısa mesafeli gürültülü kuantum titremeleri bu uzanım sonucu etkisini kaybeder. 1980'lerin sonlarında, sicim kuramının genel görelilikle kuantum mekaniğini bağdaştırdığına ilişkin güçlü kanıtlar vardı; çok daha sonraki gelişmelerle (IX. Bölüm) bu konudaki kanıtlar daha da çarpıcı olarak ortaya konuldu.

Sicim kuramı bu gelişme çizgisinin son basamağı olarak düşünülebilir. Sicim kuramı, görelilik ve kuantum kuramlarının geçerli oldukları alanları *tek* bir çerçeve içinde toparlamaktadır. Üzerinde önemle durulması gereken nokta, kuramın, kendisinden önceki tüm keşifleri tamamen kucaklayabilmesidir. Titreşen telcikler üzerine kurulu bir kuramın genel görelilik kapsamında eğri bir uzay-zaman üzerine kurulu bir kütleçekimi anlayışı ile hiç ilgisi olmadığı düşünülebilir. Buna karşın, sicim kuramının matematiğini, kütleçekiminin önemli olduğu ama kuantum mekaniğinin önemli olmadığı bir olguya uyguladığınızda (örneğin güneş gibi çok büyük boyutlu bir maddeye), karşınıza Einstein'ın denklemleri çıkar. Titreşen telcikler ve nokta parçacıklar da birbirlerinden epey farklı kavramlardır. Ancak sicim kuramının matematiğini, bu kez kuantum mekaniğinin önemli olduğu ama kütleçekiminin önemli olmadığı bir olguya uygularsanız (hızlı titreşmeyen, hızlı hareket etmeyen ya da uzun bir şekilde gerilmemiş, dolayısıyla, düşük enerjisi olan –aynı şekilde kütlesi de az olan– ve bu nedenle de kütleçekiminin sonuçta bir



Şekil 4.3 Fizikteki önemli kuramsal gelişmeler arasındaki bağlantıların grafik ifadesi. Tarihsel gelişim içinde başarılı yeni kuramlar belli konularda ufkumuzu genişletirken (örneğin daha yüksek hız, daha büyük kütleler, daha kısa mesafeler konusunda), daha yalın fiziksel olgulara uygulanan önceki kuramları da korumuştur. Sicim kuramı bu gelişim çizgisiyle uyuşmaktadır: Belli olgularla ilgili anlama biçimlerini genişletirken, uygun durumlarda, genel göreliliğe ve kuantum alan kuramına indirgenebilmektedir.

etki göstermediği sicimlere), sicim kuramının matematiği kuantum mekaniği matematiğine dönüşecektir.

Bu durum, Şekil 4.3'te özetlenmektedir. Şekilde, Newton'dan itibaren fizikçilerin geliştirdikleri önemli kuramlar arasındaki mantıksal bağlantılar gösterilmiştir. Sicim kuramı geçmişten tamamen kopuk olabilirdi ve şekilde gösterilen bağlantıları hiçbir biçimde kuramayabilirdi. Oysa böyle bir şey söz konusu değildir. Sicim kuramı, yirminci yüzyıl fiziği içinde karşılaşılan engelleri aşan, devrimsel nitelikte bir kuramdır. Buna karşın, kuramın, son üç yüz yıllık keşifleri kendi matematiği içinde açıklayabilen kapsamlı ve geçmişi yadsımayan bir özelliği de bulunmaktadır.

Uzayın Boyutları

Şimdi daha garip bir konuya geliyoruz. Noktalardan telciklere geçiş, sicim kuramıyla çizilen yeni genel çerçevenin sadece bir bölümüdür. Sicim kuramı araştırmalarının ilk dönemlerinde, fizikçiler, enerjinin kendiliğinden yoktan var olması ya da yok olması gibi kabul edilemez ciddi matematiksel sorunlarla karşılaşmışlardır (Bunlar *kuantum anomalileri* olarak adlandırılır.). Bu gibi sorunlar ortaya atılan bir kuram açısından önemli engeller oluşturduğunda, fizikçiler kesin bir duruş sergileyerek kuramı hemen göz ardı etmeyi tercih ederler. 1970'lerde pek çok fizikçi, sicimler söz konusu olduğunda da en kestirme tepkinin bu biçimde bir davranış sergilemek olduğunu düşünmüşlerdir. Konuyu geliştirmede sebat gösteren çok az sayıdaki araştırmacı farklı bir duruş sergileyebilmiştir.

Bu fizikçiler, gerçekten önemli bir başarı göstererek karşılaşılan sorunların temelinde uzayın boyutlarının sayısının yattığını belirtmişlerdir. Yaptıkları hesaplamalar, uzayın gündelik algılarımızdaki üç boyuttan –alışılagelen sol/sağ, ileri/geri, aşağı/yukarı– daha fazla boyuta sahip olması durumunda, sicim kuramı denklemlerinde sorun yaratan engellerin aşılabileceğini ortaya koymuştur. Daha açık söylemek gerekirse, dokuz uzay boyutu ve tek zaman boyutundan oluşan, diğer bir deyişle, on uzay-zaman boyutlu bir evrende, sicim kuramı denklemlerinin sorunsuz işlediği anlaşılmıştır.

Keşke konuyu teknik terimlere gerek duymadan açıklayabilseydim ama bunu yapabilmem zor; yapabilecek birine de henüz rastlamadım. *Evrenin Zarafeti* kitabımda konuyu basit bir biçimde açıklamaya gayret ettiysem de açıklamalarım yalnızca boyutların sayısının sicim titreşimlerini nasıl etkilediğine açıklık getirmiş, on tane boyutun nasıl ortaya çıktığını anlatmaya yetmemiştir. Bu nedenle, burada olabildiğince anlaşılır kılmaya çalışacağım teknik terimlerle olayın matematiksel yanına değineceğim. Sicim kuramında (D – 10) kere (*Problemli Terim*) formunda bir denklem vardır. Burada, *D* uzay-zaman boyutunun sayısını belirtmektedir. *Problemli Terim* ise sorunlu bir fiziksel olgunun matematiksel ifadesidir, örneğin yukarıda belirttiğimiz enerji korunumunun çiğnenmesi gibi. Bu denklemin neden böyle olduğunu basit bir açıklama ile anlatamam. Ne var ki matematiksel hesaplamalarla uzay-zaman boyutu sayısı, zannettiğimiz gibi dört değil, on olduğunda, yani on boyutlu bir uzayda, denklem 0 kere *Problemli Terim* halini alır. Sıfırla çarpılan herhangi bir şey de sıfır olacağı için sorun ortadan kalkmaktadır. Matematik, olayı işte bu kadar basit kapatmıştır. Bu yüzden, sicim kuramcıları evren için dörtten daha fazla sayıda uzay-zaman boyutu öngörmektedirler.

Matematiğin dediklerini kabul etme konusunda ne kadar açık olursanız olun, ekstra boyutlar düşüncesine daha önceden aşinalığınız yoksa bu fikirler size oldukça sıra dışı gelecektir. Uzayın boyutları arabanızın anahtarı ya da çorabınızın teki gibi kayboluvermez. Eğer evrenin uzunluk, genişlik ve yükseklik dışında başka boyutları olsaydı görürdük herhalde, diyebilirsiniz. Pek de öyle değil. Hatta yirminci yüzyılın ilk yıllarında Alman matematikçi Theodor Kaluza ve İsveçli fizikçi Oskar Klein, bir dizi makale yazıp uzayın gözlemlerimizin dışında kalan boyutları olabileceğinden söz etmişlerdir. Çalışmalarında, alışık olduğumuz muhtemelen sonsuz uzay boyutlarının dışında, çok küçük ve kendi üzerine kıvrılmış olan ve bu nedenle de gözle görülemeyen başka boyutların olabileceğini belirtmişlerdir.

Bunun nasıl olabileceğini anlayabilmek için bir içecek kamışını düşünelim. Bu içecek kamışı kullandığımız kamışların inceli-

ğinde, ancak Empire State Binası kadar uzun olsun. Bu kamışın yüzeyinin iki boyutu vardır. Bir tanesi uzun dikey boyutu, diğeri de kamışın etrafına sarılan kısa dairesel boyutu. Şimdi düşünün ki bu uzun içecek kamışına Şekil 4.4a'da gösterildiği gibi Hudson Nehri'nin kıyısından bakıyorsunuz. Kamış çok ince olduğundan, size yerden gökyüzüne uzanan düşey bir çizgi olarak görünecektir. Bu uzaklıktan siz, her ne kadar kamışın tüm uzunluğu boyunca var olsa da kamışın dairesel boyutunu göremezsiniz. Bu da yanıltıcı olacak, kamışın iki boyutlu değil, tek boyutlu olduğunu zannetmenize yol açacaktır.[9]

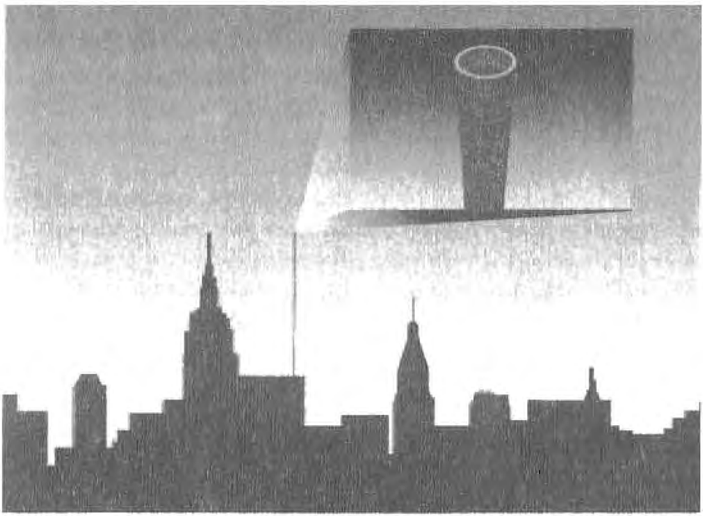
Başka bir örnek olarak şimdi de gözünüzde Utah'ın tuz düzlüklerini kapatacak kadar geniş bir halı canlandırın. Uçaktan bakıldığında bu halı kuzeyden güneye, batıdan doğuya uzanan iki boyutlu bir düzlük olarak görünecektir. Ancak uçaktan paraşütle atlayıp halıya epeyce yaklaştığınızda halının yüzeyinde küçük pamuklu bukle şeklinde ilmekler olduğunu, bu ilmeklerin de halının tüm arka yüzüne küçük düğümlerle bağlandıklarını görebilirsiniz. Halının kolaylıkla görülebilir iki büyük boyutunun (kuzey/güney, doğu/batı) yanı sıra, daha önce görülmesi kolay olmayan küçük başka bir boyutu daha (dairesel ilmekler) ortaya çıkmıştır (Şekil 4.4b).

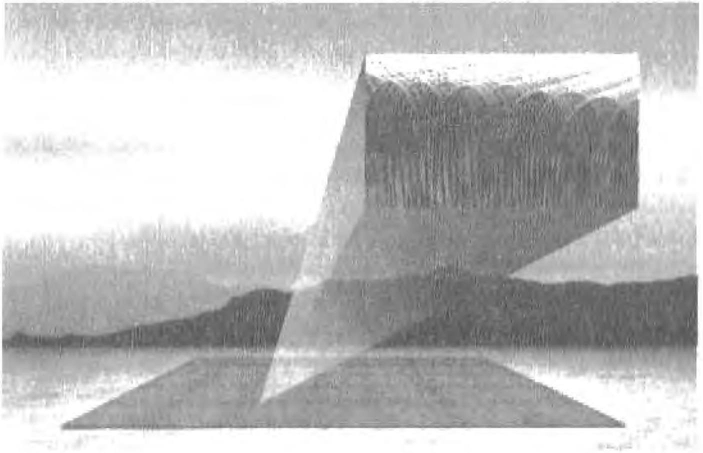
Kaluza ve Klein, uzayın dokusunda da görülmesi kolay, büyük boyutların yanı sıra daha küçük ve görülmesi çok zor başka boyutların bulunduğunu öne sürmüştür. Tıpkı içecek kamışının dikey boyutu ve halının kuzey/güney, doğu/batı boyutları gibi uzayın bizim algılayabildiğimiz üç boyutunun olması, bu boyutların çok büyük (belki de sonsuz) boyutlar olmasından ileri gelmektedir. Eğer uzayın aynı içecek kamışı ya da halı örneğindeki gibi kıvrılan ancak olağanüstü küçük ölçekli –tek bir atomdan milyon hatta milyar kere daha küçük ölçekte– boyutları varsa, bunları alışık olduğumuz boyutlar kadar yaygın da olsalar, bugün sahip olduğumuz en gelişmiş büyütücü cihazlarla bile görebilmemiz mümkün değildir. Böylesi bir boyut, sonuçta, fark edilemez. Evrenimizin her gün algıladığımız üç boyutunun ötesinde başka boyutları olduğunu öne süren *Kaluza-Klein kuramı* işte böyle şekillenmiştir (Şekil 4.5).

Ne kadar alışılmışın dışında olsa da uzayın "ekstra" boyutları olduğu düşüncesi saçma bir düşünce değildir. İyi bir çıkış noktası yakaladığı söylenebilir, ancak şu soruyu akla getirmektedir: Neden 1920'lerde birileri böyle sıra dışı bir düşünce ortaya atar? Kaluza'nın motivasyonu, Einstein'ın genel görelilik kuramını yayınlamasının hemen ardından geliştirdiği bir düşünceydi. Fark etmişti ki kelimenin tam anlamıyla küçük bir kalem oynatmasıyla Einstein'ın denklemlerini evrene ekstra bir boyut daha eklenecek bir şekilde uyarlayabilirdi. Kaluza, oğlunun anlattığına göre, bu amaca yönelik yeni denklemlerini düzenlediğinde, elde ettiği sonuçları o kadar heyecan verici bulmuştu ki o her zamanki mesafeli davranış biçiminden birden sıyrılmış, masanın üzerine iki eliyle vurup ayağa fırlamış ve *Figaro'nun Düğünü'*den bir arya söylemeye başlamıştı.[10] Kaluza'nın yeniden düzenlediği denklemlerin içinde Einstein'ın üç boyutlu uzay ve tek boyutlu zaman anlayışıyla kütleçekimini tanımlamak için başarılı biçimde kullanmış olduğu denklemler vardı. Ancak Kaluza uzayın ekstra bir boyutunu daha tanımladığı için düzenlemesinde yeni bir denklem daha bulunmaktaydı. Kaluza bu yeni denklemini yazdığında bir de ne görsün? *Bu denklem Maxwell'in kendisinden yaklaşık elli yıl önce elektromanyetik alanı tanımlamak için yazdığı denklemle aynıydı.*

Bunun üzerine Kaluza, ekstra bir boyut eklenerek tanımlanan bir evrende hem kütleçekiminin hem de elektromanyetizmanın uzaydaki ufak dalgalarla açıklanabileceğini belirtti. Kütleçekimi, uzayın bilinen üç boyutu içinde ufak dalgalar yaratırken, elektromanyetizma dördüncü boyut içinde ufak dalgalanmalar gösteriyordu. Kaluza'nın modelindeki en önemli sorun, bu dördüncü boyutu neden göremediğimizin açıklanmasıydı. İşte bu noktada Klein yukarıda açıkladığımız yanıtı verdi: Doğrudan görebildiğimiz boyutların ötesinde kalan boyutlar son derece küçük ölçekli ise hem bizim hem de cihazlarımızın algılama sınırlarının dışında kalmaktaydılar.

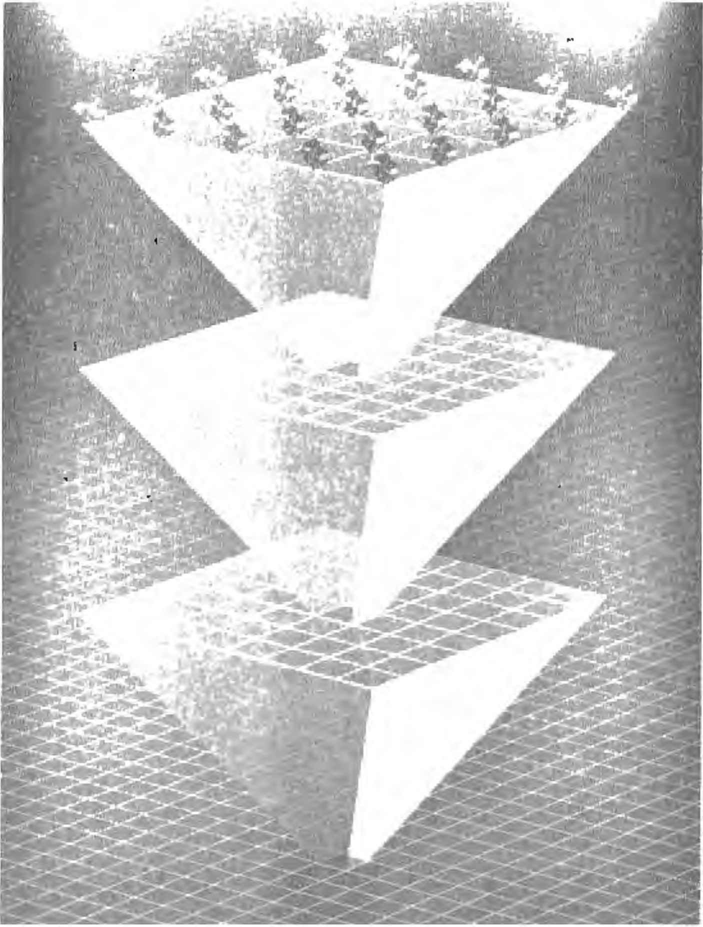
Einstein, 1919'da ekstra boyutların varlığına işaret eden birleştirme tasarısını öğrendikten sonra biraz kararsızlık yaşadı. Do-





Şekil 4.4 (a) Uzun bir içecek kamışının iki boyutu vardır; dikey boyutu uzun ve görülebilir bir boyuttur. Oysa dairesel olan boyutu küçük ve fark edilmesi zor bir boyuttur. **(b)** Devasa büyüklükte bir halının üç boyutu bulunur: Kuzey/güney ve doğu/batı boyutları büyük ve gözle görülebilir boyutlardır. Dairesel olan boyut, halının dokusundaki kıvrımsal ilmekler ise küçük, dolayısıyla, fark edilmesi zor boyuttur.

ğanın yasalarını birleştirme hayallerini ileriye taşıyan bu kuramdan etkilenmiş olsa da böylesi bir yaklaşım konusunda tereddütleri vardı. Kaluza'nın makalesi üzerine birkaç yıl düşünüp taşındıktan ve bu yüzden baskısını geciktirdikten sonra, Einstein bu yeni fikre son derece ısındı ve hatta zaman içinde uzayın bu gizli boyutlarının



Şekil 4.5 Kaluza-Klein kuramı uzayın bilinen üç boyutuna her noktada eklenmiş ilave küçük boyutlar öngörür. Uzayın dokusunu yeterince büyütebilseydik, varsayılan bu küçük ölçekli boyutlar rahatlıkla görünebilirdi. (Görsel kolaylık için şekilde bu ekstra boyutlar ızgaranın kesişme noktalarında gösterilmiştir.)

en ateşli savunucularından biri oldu. Doğanın yasalarını birleştirme amaçlı araştırmalarında bu fikri tekrar tekrar ele aldı.

Einstein'ın desteğine rağmen, daha sonraki araştırmalar Kaluza-Klein modelinin özellikle elektronlar gibi madde parçacıklarının özelliklerinin matematiksel olarak açıklanmasında birtakım sorunlar taşıdığını ortaya koydu. Özgün Kaluza-Klein modelinin sorunları üzerine çeşitli genellemeler ve değişiklikler ön-

gören çalışmalar yirmi otuz yıl boyunca aralıklı olarak devam etti, ancak tümüyle çözüme ulaşmış bir model ortaya konulamadı. Böylece, 1940'ların ortalarına doğru ekstra uzay boyutları öngörerek doğa yasalarını birleştirme çabaları bir tarafa bırakıldı.

Bundan otuz yıl sonra ortaya sicim kuramı çıktı. Sicim kuramı için, uzayın üç boyutunun ötesinde başka boyutları olması sadece bir bakış açısı değil, kuramın matematiği açısından bir gereklilikti. Bu nedenle, sicim kuramı Kaluza-Klein modelini canlandıracak yeni ve hazır bir ortam sağlamış oldu. "Eğer sicim kuramı uzun süredir arayışı süren birleştirici kuramsa, o halde neden kuramın ihtiyaç duyduğu bu ekstra boyutları göremedik?" sorusuna Kaluza-Klein kuramı yıllar öncesinden seslenerek bir yanıt veriyor ve bu boyutların her yanımızı sarmış olduğunu ama görülemeyecek ölçüde küçük olduklarını belirtiyordu. Sicim kuramı Kaluza-Klein kuramına yeniden hayat vermişti. 1980'lerin ortalarına doğru dünyanın her yerindeki araştırmacılar için sicim kuramının tüm maddeyi ve tüm kuvvetleri açıklayacak bütüncül bir kuram haline gelmesi artık an meselesiydi.

Büyük Umutlar

Sicim kuramının ilk yıllarında o kadar hızlı ilerleme kaydedildi ki bu gelişmelere ayak uydurabilmek neredeyse imkânsızdı. Pek çok kişi için bu durum 1920'lerde bilim insanlarının yeni keşfedilen kuantum olgusuna gösterdikleri büyük ilgiyi hatırlatıyordu. Bu heyecan içinde bilim insanlarının temel fiziğin ana sorunlarına yönelik hızlı çözümlerden bahsetmeleri anlaşılır bir durumdu: Kütleçekimi ile kuantum mekaniğinin bağdaştırılması, doğadaki tüm kuvvetlerin birleştirilmesi, maddenin niteliklerinin açıklanması, uzayın boyutlarının sayısının belirlenmesi, kara delik tekilliğinin açıklığa kavuşturulması, evrenin başlangıcının aydınlanması. Yine de bazı deneyimli araştırmacılar kuramın henüz tüm bu beklentileri karşılayacak ölçüde olgunlaşmadığını düşünüyorlardı. Sicim kuramı son derece zengin, kapsamlı ve matematiksel açıdan zor olan bir kuramdır. İlk öne sürüldüğü tarihten itibaren geçen yaklaşık otuz yıl içindeki araştırmalar

daha yolun ancak bir kısmını katetmemizi sağlamıştır. Kuantum kütleçekimi kapsamındakiler şu anda deneysel olarak sonuç alabileceğimiz herhangi bir şeyden yüz milyar kere milyar daha küçük olduğu için, önümüzde alınması gereken daha çok uzun bir yol olduğunu söyleyebiliriz.

Peki, şimdi bu yolun neresindeyiz dersiniz? Bu bölümün takip eden sayfalarında, paralel evrenlerle ilgili olanları daha sonraki bölümlere bırakarak konunun önemli yanlarına dair en ileri düzeyde anlayışlara değinecek ve günümüze dek elde edilen başarıları ve hâlâ çözüm bekleyen konuları açıklayacağım.

Sicim Kuramı ve Parçacıkların Özellikleri

Tüm fiziğin en karmaşık sorularından biri, parçacıkların sahip oldukları özelliklere neden sahip olduklarıdır. Örneğin, neden elektronun kütlesi şu an sahip olduğu değerdedir ya da neden bir yukarı-kuarkın elektrik yükü şu anki değerine sahiptir? Bu gibi sorular parçacıkların yalnızca kendi özellikleri açısından değil, daha önce değindiğimiz bir nokta açısından da önem taşımaktadır. Eğer parçacıkların özellikleri farklı olsaydı –söz gelimi, elektron bir parça daha ağır veya hafif olsaydı ya da elektronlar arasındaki elektrik itişi daha güçlü veya daha zayıf olsaydı– güneşimiz gibi yıldızları besleyen nükleer süreçler de altüst olurdu. Yıldızlar olmadan evrenimiz de çok farklı bir yer olurdu.[11] Daha net söylememiz gerekirse, güneşin ısısı ve ışığı olmasaydı dünyada yaşamı var eden zincirleme süreçler de olamazdı.

Kalemi, kâğıdı ya da bilgisayarı kullanıp fizik yasalarına dair en derin kavrayışımızdan yararlanarak parçacıkların özelliklerini hesaplamak ve ölçülen değerlerle bu özellikleri bağdaştırabilmek. İşte işin en zorlu yanı budur. Bu başarılabilse evrenin neden böyle olduğunu anlamaya dair çok önemli adımlar atılmış olurdu.

Kuantum alan kuramında bu işle başa çıkmak mümkün değildir. Hem de hiçbir zaman. Kuantum alan kuramı için ölçülmüş parçacık özellikleri *girdi* olarak olmazsa olmaz özelliklerdir –bu özellikler kuram tanımının özünde yer alırlar. Böylece kuram parçacıkların kütleleri ve yükleri için geniş aralıklar barındırabilir.[12]

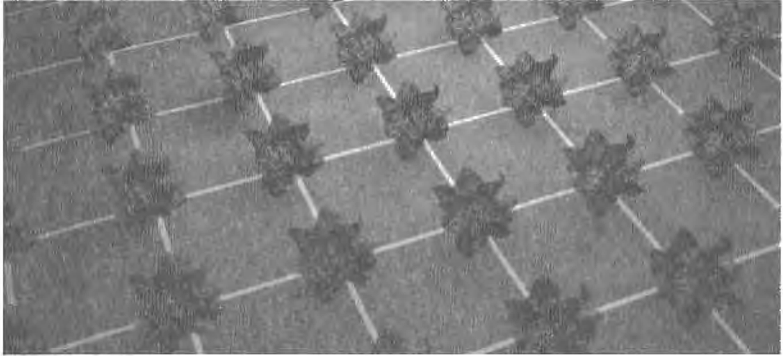
Elektronun kütlesinin ya da yükünün dünyamızdakinden daha büyük ya da küçük olduğu varsayımsal bir evrende, kuantum alan kuramının işi kolay olurdu çünkü her şey belli bir parametrenin değerini kuramın denklemlerinin içinde ayarlamaya kalırdı.

Peki sicim kuramı daha iyisini başarabilir mi?

Sicim kuramının en güzel (ve konuyu öğrenmeye başladığımda beni en çok etkileyen) özelliklerinden biri, parçacık özelliklerinin ekstra boyutların ölçülerine ve biçimlerine bağlı olarak belirlenmesidir. Sicimler son derece küçük olduklarından, yalnızca alışkın olduğumuz üç boyut içinde değil, küçük ve kıvrılmış diğer boyutlarda da titreşirler. Üflemeli bir çalgı çalınırken üflenen havanın titreşme örüntüsü çalgının biçimine göre nasıl değişiklik gösteriyorsa, sicim kuramının tanımladığı sicimlerin de kıvrılmış ekstra boyutların geometrik biçimlerine göre değişen titreşim örüntüleri bulunur. Sicimin titreşim örüntülerinin kütle ya da elektrik yükü gibi parçacık özelliklerini belirlediğini hatırlarsak, bu özelliklerin ekstra boyutların geometrisi ile ortaya çıktıklarını anlayabiliriz.

Sicim kuramında sözü edilen ekstra boyutların tam olarak nasıl göründüklerini bilebilseydik, titreşen sicimlerin ayrıntılı özelliklerini, dolayısıyla, sicimlerin titreşerek var ettikleri parçacıkların ayrıntılı özelliklerini anlayabilirdik. Sorun şu ki şu ana kadar hiç kimse bu öte boyutların geometrik yapılarının tam olarak nasıl olduklarını saptayamamıştır. Sicim kuramının denklemleri bu ekstra boyutların geometrisine matematiksel kısıtlamalar getirmiştir. Bu ekstra boyutlar, bu nedenle, *Calabi-Yau şekilleri* (ya da matematik terimiyle, *Calabi-Yau çokkatlıları*) olarak adlandırılan bir grup kapsamında sınıflandırılırlar. Bu şekiller, sicim kuramındaki önemli rolleri henüz keşfedilmeden önce özelliklerini ortaya koyan Eugenio Calabi ve Shing-Tung Yau'nun adlarıyla anılmaktadırlar (Şekil 4.6). Sorun şu ki tek bir tane Calabi-Yau şekli yoktur. Tıpkı müzik aletleri gibi bu şekiller de değişik büyüklükte ve biçimlerdedir. Nasıl farklı müzik aletleri farklı sesler çıkarıyorsa, büyüklüğü ve biçimi farklı olan (bunların yanı sıra bir sonraki bölümde göreceğimiz gibi daha ayrıntılı

özellikleri olan) ekstra boyutlar da farklı sicim titreşim örüntüleri, diğer bir deyişle, farklı parçacık özellikleri yaratırlar. *Ekstra boyutların tam anlamıyla tanımlanamamış olması sicim kuramcılarının kesin öngörülerde bulunma çabalarında en önemli engeli teşkil etmektedir.*



Şekil 4.6 Sicim kuramına göre uzayın dokusunu yakından incelediğimizde, Calabi-Yau biçiminde bükülmüş fazladan boyutların görüntüsü. Tıpkı bir halının dokusundaki kıvrımlar ve düğümler gibi Calabi-Yau biçimindeki bu boyutlar bildiğimiz üç boyutun her bir noktasına eklenmiş durumdadır (resimde iki boyutlu bir ızgara üzerinde gösterilmektedir), ancak görsel kolaylık sağlamak için bu şekiller resimde sadece kesişme noktalarına yerleştirilmiştir.

1980'lerin ortalarında sicim kuramı üzerinde çalışmaya başladığımda sadece birkaç tane Calabi-Yau şekli biliniyordu. Böylece, her birini tek tek inceleyip bilinen fiziğe uyuyor mu diye bakabilirdiniz. Doktora tezim bu doğrultudaki ilk adımlardan biriydi. Birkaç yıl sonra doktora sonrası araştırmacıyken (Calabi-Yau şekillerine adını veren Yau ile çalışıyordum), keşfedilen Calabi-Yau şekillerinin sayısı binlerle ifade edilmeye başlandı. Bu da ayrıntılı bir analiz yapabilme yolunda ciddi bir zorluk anlamını taşıyordu –ama doktora öğrencileri ne için vardı ki? Zaman geçtikçe, Calabi-Yau şekillerinin sayısı hiç durmadan artarak, V. Bölüm'de göreceğimiz gibi, neredeyse bir kumsaldaki kum tanecikleri sayısından fazlasına ulaştı diyebilirim. Hatta bütün kumsallardaki. Dolayısıyla, bildiğimiz üç boyutun ötesindeki diğer boyutlara dair her olasılığın matematiksel olarak ele

alınabilmesi imkânsız hale geldi. Sicim kuramcıları, bu nedenle, kuramdan yola çıkarak tek bir Calabi-Yau şeklini seçmeyi sağlayacak matematiksel bir direktif aramaya devam ettiler. Bugüne kadar bunu başarabilen olmadı.

Temel parçacıkların özelliklerini açıklama konusuna dönersek, sicim kuramı hâlâ amacına ulaşmaya çalışmaktadır. Bu bağlamda, kuantum alan kuramından öte henüz bir gelişme sağlayabilmiş değildir.[13]

Ancak şunu aklımızdan çıkarmamalıyız. Sicim kuramını bugün önemli kılan özelliği, yirminci yüzyıl kuramsal fiziğinin *temel* ikilemini çözme konusundaki yetkinliğidir: Sicim kuramı genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki hiddetli çatışmayı sona erdirmiştir. Bu kuram sayesinde genel görelilik ve kuantum mekaniği en sonunda uyumlu hale gelebilmiştir. Sicim kuramının en önemli katkısı, kuantum alan kuramının standart yöntemlerini boşa çıkartan kritik bir engeli aşmamızı sağlamasıdır. Eğer sicim kuramının matematiği, ekstra boyutlar için tek bir form seçebilmemizi sağlarsa ki bu gözlenen bütün parçacık özelliklerini açıklamamıza imkân verecektir, işte o zaman olağanüstü bir başarı kazanılacaktır. Ancak sicim kuramının bu konudaki zorlukları aşabileceğinin bir garantisi bulunmamaktadır. Ayrıca sicim kuramının böyle bir işi başarmasına gerek de yoktur. Kuantum alan kuramı son derece başarılı bir kuram olmuştur, ancak temel parçacık özelliklerini açıklayamamaktadır. Sicim kuramı da bu parçacık özelliklerini açıklayamamakla birlikte, kütleçekimi konusunda kuantum alan kuramından ileriye gidebilmişse, bu bile çok önemli bir aşama olarak görülmelidir.

VI. Bölüm'de, paralel dünyalarla dolu bir kozmos –sicim kuramının modern bir yorumunda önerildiği gibi– söz konusu ise o zaman matematiğin ekstra boyutlar için tek bir form seçmesini ummanın yanlış olabileceğini göreceğiz. Bunun yerine, çok sayıda değişik DNA biçimlerinin yeryüzünde farklı yaşam biçimleri meydana getirmesi gibi, çok sayıda değişik biçimdeki ekstra boyutların da sicim kuramının çoklu evren modelini dolduran çok çeşitli evrenler meydana getirdiğini düşünebiliriz.

Sicim Kuramı ve Deneyler

Eğer tipik bir sicim, Şekil 4.2'de belirtildiği gibi son derece küçükse, bir uzanıma sahip yapısını –kendisini bir noktadan ayıran temel özelliği– anlayabilmek için Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndan bile milyon kere milyar kez daha güçlü bir hızlandırıcıya ihtiyaç vardır. Bilinen teknolojiyi kullanmaya kalkarsak, bu hızlandırıcının gökadamız kadar büyük olması ve her saniye, bin yıllık bir sürede tüm dünya için gerekli miktarda bir enerjiyi tüketmesi gerekir. Olağanüstü bir teknolojik atılım haricinde, hızlandırıcılarımızın erişebileceği nispeten daha az enerjilerde sicimler nokta parçacıklarmış gibi görülebilecektir. Bu, daha önce vurguladığım kuramsal gerçeğin deneysel karşılığıdır: Düşük bir enerjide, sicim kuramının matematiği kuantum alan kuramının matematiğine dönüşecektir. Böylece, sicim kuramı doğru temel kuram olsa bile, gerçekleştirilebilecek pek çok deneyde kuantum alan kuramı gibi davranmış olacaktır.

Bu elbette iyi bir şeydir. Her ne kadar kuantum alan kuramı genel görelilikle kuantum mekaniğini birleştiremiyor ve parçacıkların temel özelliklerini açıklayamıyorsa da pek çok başka deneysel sonucu açıklayabilmektedir. Bunu yaparken parçacıkların ölçülmüş özelliklerini girdi olarak almakta (Bu girdiler kuantum alan kuramındaki alanların ve enerji eğrilerinin seçimini belirlemektedir.) ve genellikle hızlandırıcı kullanılan diğer deneylerde bu parçacıkların nasıl davranacağına ilişkin öngörülerde bulunmaktadır. Sonuçlar son derece tutarlı çıkmaktadır. Bu yüzden, nesiller boyu parçacık fizikçileri, kuantum alan kuramını çalışmalarında temel yaklaşım olarak kullanmaktadır.

Kuantum alan kuramında alanların ve enerji eğrilerinin seçimi, sicim kuramında ekstra boyutların seçimine benzemektedir. Sicim kuramının karşı karşıya kaldığı başlıca zorluk, parçacık özelliklerini (parçacıkların kütlelerini ve yüklerini) ekstra boyutların biçimleriyle ilişkilendirmekte kullanılan matematiğin sıra dışı bir biçimde karmaşık olmasıdır. Şimdiye kadar elde edilmiş deneysel sonuçları, kuantum alan kuramında alan ve enerji eğrilerinin seçimine benzer biçimde, ekstra boyutları seçmek için kullanabilmek

bu nedenle zor olmaktadır. Belki bir gün bu deneysel sonuçların sicim kuramındaki ekstra boyutları belirlemek için kullanılması mümkün olabilecektir ama ne yazık ki şimdilik mümkün değildir.

O halde, yakın gelecekte, sicim teorisi ile deneysel veriler arasında bağ kurmak için en ümit verici yol, geleneksel yöntemlerle de açıklanabilecek bazı öngörülerin sicim kuramı kullanılarak daha doğal ve inandırıcı bir şekilde açıklanabiliyor olmasıdır. Bu metni ayak parmaklarımla yazdığımı varsayabilirdiniz, ama daha doğal ve inandırıcı bir varsayım –doğruluğunu kanıtlayabileceğim üzere– ellerimi kullandığım olurdu. Tablo 4.1.'de özetlenen deneylere uygulanmış benzer yaklaşımlar, sicim kuramı için dolaylı kanıt olma kapasitesine sahiptir.

Şu ana kadar yapılanlar, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndaki parçacık fiziği deneylerinden (süpersimetrik parçacıkların ve ekstra boyutlarla ilgili kanıtların aranması) masaüstü deneylere (kütleçekimi gücünün metrenin milyonda biri ve hatta daha küçük ölçeklerde ölçülmesi), oradan gökbilimsel gözlemlere (belli türlerde kütleçekimi dalgalarının ve kozmik mikrodalga fon ışınımındaki hassas sıcaklık değişimlerinin araştırılması) kadar değişmektedir. Tabloda her bir farklı yaklaşım açıklanmaktadır, ama genel değerlendirme çabucak yapılabilir. Bu deneylerin herhangi birinden gelecek olumlu bir sonuç sicim kuramından bağımsız biçimde açıklanabilir. Örneğin, süpersimetrinin matematiksel çerçevesi (Tablo 4.1. birinci madde) ilk kez sicim kuramı çalışmaları ile ortaya çıktığı halde, o zamandan itibaren sicim kuramı dışındaki kuramsal yaklaşımlara uygulanagelmiştir. Süpersimetrik parçacıkların keşfedilmesi, sicim kuramının bir kısmını onaylayabilir, ancak açık bir kanıt oluşturmaz. Benzer biçimde, uzayın ekstra boyutları sicim kuramının doğal bir parçası olsa da sicim kuramı dışındaki başka kuramsal yaklaşımların da –Kaluza bu konudaki düşüncesini ortaya attığında sicim kuramını düşünmemişti– içinde yer almıştır. Tablo 4.1.'den çıkartılabilecek faydalı sonuç, bu yaklaşımlardaki sonuçların birden fazlasının sicim kuramını anlamlı kılıyor olmasıdır. Sicim kuramı dışındaki yaklaşımlar böyle bir durumda yetersiz kalacaklardır.

DENEY/ GÖZLEM	AÇIKLAMA
Süpersimetri	Süpersicim kuramındaki "süper" terimi, matematiksel bir özellik olan süpersimetri kavramına gönderme yapar: Bilinen her parçacık türü için aynı elektrik ve nükleer güç özelliklerine sahip bir eş parçacığın bulunması gerekir. Kuramcıların tahminlerine göre, bu parçacıkları şimdiye kadar belirleyebilmek mümkün olamadı, çünkü bilinen benzerlerinden daha ağırlar, bu nedenle de kullanılagelen hızlandırıcıların erişimi dışında kalıyorlar. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın bunları üretecek yeterli enerjisi olabilir. Bu yüzden, doğadaki süpersimetri özelliğinin açığa çıkabileceğine ilişkin yaygın bir beklenti var.
Ekstra Boyutlar ve Kütleçekimi	Uzay kütleçekiminin yayıldığı bir ortam olduğundan, ekstra boyutlar kütleçekiminin yayılması açısından daha geniş bir bölge anlamına gelmektedir. Tıpkı bir damla mürekkebin suya damlatıldığında seyrelip dağılması gibi, kütleçekiminin gücü de daha fazla boyuta yayıldığında dağılarak azalır (kahve fincanını kaldırdığınızda kaslarınız bütün dünyanın çekim gücünü yenmiş olur). Eğer ekstra boyutların ölçüsünden daha küçük uzaklıklarda kütleçekiminin şiddetini ölçebilseydik, kütleçekimi kuvvetini dağılmadan yakalayabilir ve aslında daha güçlü bir kuvvet olduğunu saptayabilirdik. Şu ana kadar, mikron (10^{-6} metre) ölçeğinde yapılan ölçümler, üç boyutlu bir dünyaya göre ortaya konulan öngörülerden bir sapma göstermemiştir. Fizikçiler bu deneyleri çok daha kısa mesafeler için yaptıklarında sapma ortaya çıkarsa, bu durum ilave boyutların varlığı konusunda destekleyici bir kanıt olacaktır.
Ekstra Boyutlar ve Kayıp Enerji	Eğer ekstra boyutlar varsa ama mikrondan çok daha küçük ölçeklerdeyse, deneylerle kütleçekimi şiddetini doğrudan ölçerek ekstra boyutların varlığına dair bir veriye ulaşmak mümkün olamayacaktır. Fakat Büyük Hadron Çarpıştırıcısı bu boyutların varlığını ortaya çıkarmak için başka tür araçlar sağlayabilir. Hızla hareket eden protonların kafa kafaya çarpışmaları sonucu ortaya saçılan parçalar, bildiğimiz büyük boyutlardan fırlayıp ekstra boyutların içine sıkışma eğilimi gösterebilirler. Böyle olması durumunda, saçılan parçalar enerjiyi de beraberinde taşıyacak, bunun sonucu olarak, çarpışmadan sonra dedektörlerimiz öncekine oranla biraz daha az enerji saptayacaklardır. Böylesi kayıp enerji saptamaları da ekstra boyutların varlığı konusunda güçlü bir kanıt oluşturabilir.

DENEY/ GÖZLEM	AÇIKLAMA
Ekstra Boyutlar ve Mini Kara Delikler	Genellikle kara delikler nükleer yakıtını tüketmiş ve kendi ağırlığı altında çökmüş büyük yıldızların kalıntıları olarak tanımlanırlar, ancak bu oldukça sınırlı bir tanımdır. Yeterince sıkıştırılmış herhangi bir şey bir kara delik haline gelebilir. Dahası, kısa mesafelerde kütleçekimi şiddetinin artmasına neden olan ekstra boyutlar varsa, kara deliklerin oluşması daha da kolaylaşacaktır çünkü daha güçlü bir kütleçekimi kuvveti, karadelikleri oluşturan kütleçekimsel çekmenin ortaya çıkabilmesi için daha az sıkıştırma gerektiğine işaret eder. Sadece iki proton bile Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın sağladığı hızla çarpıştırılsa, bir kara delik oluşturmak için gerekli enerjinin yeterince küçük bir hacme sıkıştırılmasını sağlayabilir. Belki ufacık bir kara delik olur ama yine de yeterli bir göstergedir. Stephen Hawking'in matematiksel çalışmaları bize mini kara deliklerin hızla daha hafif parçacıklar halinde ayrıştığını göstermektedir. Çarpıştırıcının dedektörleri bu hafif parçacıkların izlerini yakalayabilir.
Kütleçekimi Dalgaları	Ufacık sicimlerden bir tanesini yakalayabilseniz istediğiniz kadar gerdirebilirdiniz. Bunun için 10^{20} tondan fazla bir güç uygulamanız gerekirdi, ama yeterli enerjiyi sağlayabilseydiniz bunu yapabilirdiniz. Kuramcılar, böylesi bir gerilme için gerekli enerjinin astrofizik süreçler tarafından sağlanabileceği ilginç durumlar saptamışlardır. Bu durumlar uzayda sürüklenen uzun sicimler yaratabilir ve bunlar çok uzakta da olsalar, saptanmaları mümkün olurdu. Yapılan hesaplamalar, uzun bir sicimin titreştiğinde uzay-zamanda çok özel şekillerde küçük dalgalar –kütleçekimi dalgaları– yarattığını ve bu nedenle de net gözlemsel bir işarete sahip olduklarını göstermektedir. Önümüzdeki on beş yirmi yıl içinde son derece hassas dedektörler yerden ve yeterli fon sağlanırsa uzaydan bu dalgalanmaları ölçebilecektir.
Kozmik Mikrodalga Fon Işınımı	Kozmik mikrodalga fon ışınımı, kuantum fiziğine dair incelemeler yapmamızı sağlayacak kapasiteye sahip olduğunu kanıtlamıştır: Işınımda ölçülen sıcaklık değişmeleri uzayın genişlemesi sonucu büyük ölçeğe ulaşmış kuantum titremeleri nedeniyle ortaya çıkmaktadır. (Balonun üzerine yazılan belli belirsiz bir yazının balon şişirilince okunur hale gelmesini hatırlayın.) Şişme sırasında uzayın genişlemesi o kadar muazzamdır ki belki sicimlerin bıraktığı küçücük izler bile –Avrupa Uzay Ajansı'nın Planck uydusu tarafından– gözlemlenebilir duruma gelecek ölçüde genişlemiş olabilir. Başarı ya da başarısızlık, sicimlerin evrenin ilk anlarındaki davranış biçimlerini ne ölçüde anlayabileceğimize bağlıdır. Bu, havası boşaltılmış kozmik bir balonun üzerine sicimlerin yazdığı yazıları anlamak gibidir. Bu konuda birçok görüş ileri sürülmüş, hesaplamalar yapılmıştır. Kuramcılar artık verilerin gerçeği ortaya koymasını beklemektedirler.

Tablo 4.1. Sicim kuramını verilerle ilişkilendirme kapasitesine sahip deneyler ve gözlemler.

Öte yandan, deneylerden çıkan olumsuz sonuçlar da yararlı bilgiler sunacaktır. Süpersimetrik parçacıkların görülememesi bunların var olmadıkları anlamına gelebileceği gibi, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı deneyinde bile elde edilemeyecek ölçüde ağır oldukları anlamına da gelebilir. Benzer biçimde, ekstra boyutların görülememesi, bu boyutların var olmadıkları anlamına gelebileceği gibi, sahip olduğumuz teknolojilerle ulaşamadığımız kadar küçük oldukları anlamına da gelebilir. Mikroskobik ölçüdeki kara deliklerin görülememesi de kütleçekiminin küçük ölçeklerde güçlü olmadığı anlamına gelebileceği gibi, hızlandırıcılarımızın mikroskobik ölçekteki alanlarda gerçekleşen kütleçekimi şiddetinin artışını izlemekte yetersiz kaldığı anlamına da gelebilir. Kütleçekimi dalgalarında ya da kozmik mikrodalga fon ışınımında sicimlerden izler bulamamamız sicim kuramının yanlış olduğu anlamına gelebileceği gibi, bu izlerin sahip olduğumuz cihazların saptayamayacağı ölçüde cılız oldukları anlamına da gelebilir.

O halde, bugün itibarıyla en olumlu deneysel sonuçlar bile sicim kuramının doğruluğunu ispat edecek nitelikte değildir. Olumsuz sonuçlar da hiçbir şekilde sicim kuramının yanlış olduğunu göstermez.[14] Ancak, yanlış yargılara varmayalım. Uzayın ekstra boyutlarına, süpersimetriye, mini kara deliklere ya da benzeri başka izlere ilişkin kanıtlara ulaşabilirsek, birleşik kuram arayışında müthiş bir noktaya gelinecektir. Bu nokta, matematiksel açıdan almakta olduğumuz yolun doğru sonuçlara götürecek bir yol olduğuna dair güvenimizi arttıracaktır.

Sicim Kuramı, Tekillikler ve Kara Delikler

Pek çok durumda kuantum mekaniği ve kütleçekimi birbirlerini mutlu bir şekilde görmezden gelirler. Kuantum mekaniği, moleküller ve atomlar gibi küçük ölçekli nesnelere; kütleçekimi, yıldızlar ve gökadalar gibi büyük ölçekli nesnelere uygulanmaktadır. Oysa bu iki kuram *tekillikler* olarak bilinen durumlarla karşılaşınca birbirlerinden soyutlanmaları sona erer. Tekillik, kuantum mekaniği ve genel göreliliği kontrolden çıkaracak derecede uç noktada (büyük kütle, küçük boyut, olağanüstü uzay-

zaman eğriliği, uzayın dokusundaki delikler ya da yarıklar gibi) ve sizi tıpkı bir sayıyı sıfıra böldüğünüz zaman hesap makinenizin hata vermesine benzer sonuçlara götüren, gerçek ya da varsayımsal, herhangi bir fiziksel ortamdır.

Herhangi bir kuantum kütleçekimi kuramı açısından gerçek başarı, kuantum mekaniği ile kütleçekimini bu tekillikleri iyileştirecek biçimde birleştirebilmektir. Bunu sağlayan matematik büyük patlama anını ya da bir kara deliğin merkezini açıklarken bile hiçbir zaman hata üretmemeli,[15] uzun yıllardır araştırmacıların kafasını karıştıran durumları tanımlayabilmelidir. Bu noktada sicim kuramı en dikkate değer katkılarından birini sağlamış ve sayıları artan bir dizi tekilliği ehlileştirebilmiştir.

1980'lerin ortalarında Lance Dixon, Jeff Harvey, Cumrun Vafa ve Edward Witten'dan oluşan ekip uzayın dokusunda bulunan ve *orbifold* (genel çokkatlı) *tekillikleri* olarak bilinen bazı deliklerin açıklanması konusunda Einstein'ın matematiğinin yetersiz kaldığını, ama sicim kuramının bu delikleri açıklayabildiğini fark ettiler. Bu başarının nedeni, nokta parçacıkların deliklere düşmesi ama sicimlerin düşmemesidir. Sicimler uzanıma sahip nesneler oldukları için deliklere çarpar, onların etrafını kaplar ya da onlara yapışırlar, ancak bu etkileşimler sicim kuramının denklemlerini hiçbir biçimde bozmaz. Bu durum, yalnızca uzayda bu tür yarıkların gerçekten meydana gelmesi nedeniyle değil –çünkü olabilirler ya da olmayabilirler– kuantum kütleçekimi kuramından beklediklerimizi sicim kuramının karşılaması nedeniyle önem taşımaktadır: Genel göreliliğin ve kuantum mekaniğinin kendi başlarına açıklayamadıkları bir durum sicim kuramı ile anlamlandırılmaktadır.

1990'larda, Paul Aspinwall ve David Morrison'la yaptığım çalışmalardan ve Edward Witten'ın bağımsız çalışmalarından elde edilen sonuçlar, uzayın küresel bir bölümünün sonsuz küçüklükte bir boyuta sıkıştırılmış olduğu çok daha yoğun tekilliklerin de (*flop tekillikleri* olarak bilinirler) sicim kuramıyla açıklanabileceğini ortaya koymuştur. Buradaki fikir şöyle sezilebilir: Bir sicim hareket ettikçe, uzayın bu sıkıştırılmış parçasından

geçerken tıpkı bir çemberin sabun köpüğünün etrafından geçişi gibi onun etrafını kuşatıp koruyucu bir engel oluşturmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre, böyle bir "sicim kalkanı" olası yıkıcı sonuçları ortadan kaldırmakta ve genel göreliliğin bilinen denklemleri bu gibi durumlarda yerle bir olurken, sicim kuramının denklemlerinde bir bozulma, "birin sıfıra bölünmesi" türünden hatalar söz konusu olmamaktadır.

O zamandan bu yana geçen süre içinde araştırmacılar daha karmaşık başka tekilliklerin de (*konifoldlar, oryentifoldlar, enhankonlar* gibi) sicim kuramıyla açıklanabildiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle Einstein'ın, Bohr'un, Heisenberg'in Wheeler'ın ve Feynman'in "Ne olup bittiğini anlayamıyoruz" dedikleri durumlar için sicim kuramının tam ve tutarlı açıklamaları bulunmaktadır.

Bu büyük bir gelişmedir. Ancak sicim kuramının önündeki zorlu görev, şu ana kadar ele alınanlardan çok daha önemli olan kara deliklerin ve büyük patlamanın tekilliklerini açıklayabilmektir. Kuramcılar bu amaca yönelik olarak çok ciddi çalışmalar yürütmüş ve önemli adımlar atmışlardır. Ancak, özetle söylemek gerekirse, bu tür tekilliklerin tamamen anlaşılabilmesi için katedilmesi gereken uzun bir yol bulunmaktadır.

Bununla birlikte, önemli bir gelişme kara deliklerle ilgili bir konuya ışık tutmuştur. IX. Bölüm'de ele alacağımız gibi, Jacob Bekenstein ve Stephen Hawking'in 1970'lerde yürüttükleri çalışmalarda, kara deliklerin teknik olarak *entropi* olarak adlandırılan, belirli nicelikte bir düzensizliğe sahip oldukları gösterilmiştir. Nasıl ki bir çorap çekmecesi içindeki düzensizlik, içindekilerin birçok olası rastgele dizilimini yansıtıyorsa, temel fiziğe göre, bir kara deliğin düzensizliği de kara deliğin içindekilerin birçok olası rastgele dizilimini yansıtır. Ne var ki fizikçiler ne kadar uğraştıysa da olası dizilimleri analiz etmeyi bırakın, kara deliklerin içindekileri tanımlayacak şekilde kara delikleri anlamayı bile başaramamışlardı. Sicim kuramcılarından Andrew Strominger ve Cumrun Vafa bu açmazı bir ölçüde aşmayı başarmıştır. Sicim kuramının temel ögelerini kullanarak (bazılarını V. Bölüm'de ele alacağız), bir kara delikteki düzensizliği açıklayacak ve entropinin sayısal değerini elde et-

meyi sağlayacak matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Vardıkları sonuç, Bekenstein ve Hawking'in yanıtlarıyla bire bir örtüşmüştür. Çalışma, açıklama gerektiren daha pek çok derin konuyu (örneğin kara deliğin mikroskobik bileşenlerini belirleme) aydınlatamamış olsa da kara deliklerin düzensizliğine ait kuantum mekaniği kapsamında ilk sağlam hesaplamaları sağlamıştır.[16]

Tekillikler ve kara delik entropisine ilişkin olarak kaydedilen önemli gelişmeler, fizik çevrelerine kara delikler ve büyük patlama ile ilgili diğer aydınlatılamayan konuların da gelecekte açıklanabileceğine ilişkin güven vermiştir.

Sicim Kuramı ve Matematik

Deneysel ya da gözleme dayalı veriler, sicim kuramının doğayı doğru biçimde tanımladığını kanıtlayacak en önemli araçlardır. Bu aslında zorlu bir süreçtir. Kaydettiği tüm gelişmelere karşın, sicim kuramı hâlâ matematiksel bir girişimdir. Ne var ki kuramın matematikten tek yanlı bir şekilde istifade ettiğini söyleyemeyiz. Sicim kuramının da matematiğe önemli katkıları olmuştur.

Yirminci yüzyılın başlarında Einstein genel görelilik kuramını geliştirirken eğri uzay-zamanı açıklayacak matematiksel bir dil arayışı içindeydi. Carl Friedrich Gauss, Bernhard Riemann ve Nikolai Lobachevsky gibi matematikçilerin geometriyle ilgili daha önceki kavrayışları Einstein'ın başarısı için yadsınmaz temeller sağladılar. Bir bakıma, sicim kuramı şimdi yeni bir matematik geliştirirken Einstein'ın bu entelektüel borcunu da ödemektedir diyebiliriz. Bu konuda pek çok örnek verilebilir ama sicim kuramının matematiksel açıdan başarısına ilişkin bir örnekle yetineyim.

Genel görelilik uzay-zaman geometrisi ile gözlemlediğimiz fizik arasında sıkı bir ilişki kurmuştu. Einstein'ın denklemleri belli bir bölgede madde ve enerjinin dağılımıyla beraber, size uzay-zamanın nasıl bir biçimi olduğunu anlatırlar. Farklı fiziksel ortamlar (kütle ve enerjinin farklı biçimlerde dağılımları) farklı biçimlerde uzay-zamanların oluşmasına neden olmakta, farklı uzay-zamanlar da fiziksel olarak farklı ortamlara karşılık gelmektedir. Peki, bir kara deliğin içine düşmek nasıl bir duruma

yol açar? Bunun yanıtı için Karl Schwarzschild'in Einstein'ın denklemlerinin küresel çözümleri üzerine yaptığı çalışma kapsamında keşfettiği uzay-zaman geometrisini kullanın. Ya kara delikler hızla dönüyorlarsa? O zaman da Yeni Zelandalı matematikçi Roy Kerr'in 1963'te bulduğu uzay-zaman geometrisini kullanın. Genel görelilikte geometri yin, fizik yang durumundadır.

Sicim kuramı, bu sonuçta bir değişikliğe gider ve uzay-zamanın *farklı* şekillerinin gerçekliğin fiziksel olarak ayırt edilmez tasvirlerini sağlayabileceğini belirtir.

Bu durumu şu biçimde düşünebiliriz. Antik çağlardan modern matematik dönemine gelinceye kadar, geometrik uzayları biz hep noktaların bir kümesi olarak kabul ettik. Örneğin, bir pinpon topu, yüzeyini oluşturan tüm noktaların bir kümesiydi. Sicim kuramından önce, benzer biçimde, maddeyi oluşturan temel bileşenler noktalar ve noktasal parçacıklar olarak tanımlanıyor, bu da geometriyle fizik arasındaki uyum olarak görülüyordu. Ancak sicim kuramında, temel bileşen nokta değildir. Sicimdir. Bu da noktalarla değil, sicim ilmekleriyle tanımlanan bir geometrinin sicim fiziği ile ilişkilendirilmesi anlamına gelmektedir. Bu yeni geometrinin adı *sicim geometrisi*dir.

Sicim geometrisinin nasıl bir şey olduğunu anlayabilmek için geometrik uzayda hareket eden bir sicimi düşünün. Sicim, oradan oraya sekerek, duvarlara çarparak, vadiler aşarak vb. bir noktasal parçacık gibi davranışlar sergileyebilir. Ancak bazı belirli durumlarda sicim tamamen yeni davranış biçimleri gösterebilir. Uzayın (ya da uzayın bir bölümünün) silindir gibi olduğunu düşünün. Sicim, nokta parçacıktan beklenmeyecek bir davranış göstererek tıpkı bir konserve kutusunun etrafına geçirilmiş lastik bir bant gibi, böylesi bir uzay parçasının etrafını sarabilir. Bunun gibi "sarmalayan" sicimler ve onların "sarmalamayan" kuzenleri bir geometrik uzayı farklı bir biçimde deneyimlerler. Olur da bu silindir genişlerse onu saran sicim de gerilecek, sarmalamayan yüzeyde kayarak ilerleyen sicimin biçimi ise aynı kalacaktır. Demek ki sarmalayan ve sarmalamayan sicimler içinden geçtikleri şekillerin farklı özelliklerine duyarlı davranmaktadırlar.

Bu gözlem son derece ilginçtir çünkü hiç akla gelmeyecek çarpıcı bir sonucu da beraberinde getirmektedir. Sicim kuramcıları, bazı özel geometrik şekil çiftleri bulmuşlardır ki sarmalamayan sicimlerle incelendiklerinde tamamen farklı özellikler göstermektedirler. Bunlar sarmalayan sicimlerle incelendiklerinde ise yine tamamen farklı özelliklere sahiptirler. Ancak –işin can alıcı noktası burası– bu şekil çiftleri hem sarmalayan hem de sarmalamayan sicimlerle incelenseler ayırt edilemez bir duruma gelmektedirler. Sarmalamayan sicimlerin bir uzayda gördüklerini, sarmalayan sicimler ötekinde görmekte ya da tersi olmaktadır. Bu da sicim kuramı fiziğinden süzülen ortak resmi özdeş kılmaktadır.

Bu biçimde eşleşen şekiller matematik için etkili bir araç sağlamaktadır. Genel görelilikte eğer şu ya da bu fiziksel özelliğe ilgi duyuyorsanız, çalışılan duruma uygun geometrik uzayı kullanarak matematiksel hesaplamaları gerçekleştirmeniz gerekir. Oysa sicim kuramında fiziksel olarak birbirlerine eş geometrik şekil çiftlerinin bulunması şöyle bir seçeneğiniz olduğu anlamına gelir: Şekillerden herhangi birini kullanarak hesaplamayı yapabilirsiniz. Burada olağanüstü olan şey şudur: Hangi şekli kullanırsanız kullanın aynı yanıtı alacak olsanız da bu yanıta giden matematiksel ayrıntılar birbirlerinden çok farklı olabilir. Pek çok durumda, bir geometrik şekilde son derece zor olan matematiksel hesaplamalar, geometrik şekil çiftinin diğerinde aşırı derecede kolay hesaplamalara dönüşmektedir. Kuşkusuz, zor matematik hesaplamaları kolaylaştıran her yaklaşım son derece değerlidir.

Matematikçiler ve fizikçiler yıllarca birçok matematiksel problemin çözümlenmesinde zoru kolaylaştıran bu yaklaşımı çıkış noktası olarak almışlardır. Bunların içinde benim en çok sevdiğim örnek, belli bir Calabi-Yau şekli içine (belli bir matematiksel yolla) sığdırılabilecek küre sayısının belirlenmesiyle ilgilidir. Matematikçiler uzun süre bu soruya ilgi duymuşlar ancak en basit durumlar dışında hesaplamaların içinden çıkılmaz olduğunu görmüşlerdir. Şekil 4.6'da gösterilen Calabi-Yau şeklini ele alalım. Bu şeklin içine bir küre yerleştirdiğiniz zaman bu küre, tıpkı bir kemendin varili birkaç kez sarmalaması gibi Calabi-Yau şeklinin

bir bölümünün etrafına dolanabilir. O halde söyleyin, bu küre beş kere sarmalasa onu kaç değişik şekilde Calabi-Yau şekli içine yerleştirebilirsiniz? Böyle bir soru sorulduğunda, matematikçiler önce bir duraklayacak, önlerine bakacak, size belki de yetişmeleri gereken bir randevuları olduğunu söyleyeceklerdi. Oysa sicim kuramı, bu tür sıkıntıları ortadan kaldırmıştır. Sicim kuramcıları, ikili bir Calabi-Yau şekli üzerinde bu tür hesaplamaları çok daha kolay hale getirerek matematikçilerin rahat bir nefes almasını sağlamışlardır. Şekil 4.6'daki Calabi-Yau içine yerleşen ve beş kez sarmalayan kürelerin sayısı nedir? 229.305.888.887.625'tir. Bu küreler kendi üzerlerine on kez sarmalansa sayıları ne olur? 704.288.164.978.454.686.113.488.249.750. Ya yirmi kez sarmalansa? 53.126.882.649.923.577.113.917.814.483.472.714.066.922.267.923.866.471.451.936.000.000. Bu sayılar, matematikte yepyeni bir sayfa açan sonuçların müjdecisi olmuşlardır.[17]

Kısacası, fiziksel evreni tanımlama sürecinde doğru bir yaklaşım getirsin ya da getirmesin, sicim kuramı matematiksel evrenin incelenmesinde güçlü bir araç olarak kendisini ispat etmiştir.

Sicim Kuramının Durumu: Bir Değerlendirme

Sicim kuramının şu anki durumu, son dört bölüme dayanarak yukarıda ayrıntılarına girmediğim başka gözlemler de dahil olmak üzere Tablo 4.2.'de özetlenmektedir. Gelişmekte olan, önemli başarılar elde etmiş ama en önemli açıdan henüz test edilememiş bir kuram resmedilmektedir: Bu da deneysel doğrulamadır. Deney ya da gözlemlerle tatmin edici bağlar kuruluncaya kadar kuram kurgusal kalacaktır. Böyle bir bağın kurulabilmesi ise oldukça zordur. Ne var ki bu zorluk yalnızca sicim kuramına özgü bir zorluk değildir. Kütleçekimi ile kuantum mekaniğini birleştirmeyi amaçlayan her girişim, deneysel araştırmaların teknolojik olarak en ileri seviyedekilerinin bile erişiminin ötesinde olacaktır. Böylesi bir girişim zaten kendi içinde son derece zorlu bir amaç ortaya koymaktadır. Bilgimizin sınırlarını zorlayarak insan düşüncesinin son birkaç bin yıllık geçmişi içinde sorulan en derin sorulardan bir kısmına yanıtlar bulmaya çalışmak,

kuşkusuz bir gecede tamamlanabilecek bir iş değildir. Hatta birkaç on yılda tamamlanabileceği de düşünülemez.

En son gelişmeleri değerlendirirken çoğu sicim kuramcısı, bir sonraki en önemli adımın kuramın denklemlerini en kesin, yararlı ve kapsamlı şekilde geliştirmek olduğunu söylemektedirler. Kuramın ilk birkaç on yılı içinde, diğer bir deyişle, 1990'ların ortalarına kadar yapılan araştırmaların çoğunda yaklaşık temel denklemler kullanılmıştır. Pek çok fizikçi açısından bu denklemler kuramın temel özelliklerini açıklamakta, ancak diğer ileri öngörüler açısından zayıf kalmaktadır. Biraz sonra ele alacağımız son gelişmeler yaklaşık yöntemlerle başarılanların çok ötesinde yeni anlayışlar getirmiştir. Öngörülerin her anlamda tam ve eksiksiz olduğu söylenemese de yepyeni bir bakış açısı geliştirilmiştir. Bu bakış açısı içinde kuram, içinde yeni paralel dünya çeşitlerinin de bulunduğu bir dizi yeni ufuk açmıştır.

Tablo 4.2. Sicim kuramının şu anki durumunun özeti.

AMAÇ	AMAÇ GEREKLİ Mİ?	DURUM
Kütleçekimi ile kuantum mekaniğini birleştirmek	**Evet.** Birincil amaç genel göreliliği kuantum mekaniği ile birleştirmektir.	**Mükemmel.** Yapılan pek çok araştırma ve ileri sürülen görüş, sicim kuramının genel görelilikle kuantum mekaniğini başarılı biçimde birleştirdiğini göstermektedir.[18]
Tüm kuvvetleri birleştirmek	**Hayır.** Kütleçekimi ile kuantum mekaniğinin birleştirilmesi kütleçekiminin doğadaki diğer kuvvetlerle de birleştirilmesini gerektirmez.	**Mükemmel.** Gerek görülmese de tümüyle birleşik bir kuram yaratmak fizik araştırmalarının bir amacı olmuştur. Sicim kuramı tüm kuvvetleri aynı biçimde açıklayarak bu amaca ulaşmıştır –bu güçlerin kuantası belli titreşim örüntüleri gösteren sicimlerdir.

AMAÇ	AMAÇ GEREKLİ Mİ?	DURUM
Önceki araştırmaların önemli dayanaklarını barındırmak	**Hayır.** İlke olarak, başarılı bir kuramın daha önceki başarılı kuramlara fazlaca benzemesi beklenmez.	**Mükemmel.** İlerleme her zaman ekleyerek artmak anlamına gelmez ancak geçmişe bakıldığında genelde öyle olmuştur. Başarılı yeni kuramlar önceki kuramları genellikle kendilerinin limit durumları olarak barındırırlar. Sicim kuramı, önceki başarılı fiziksel kuramların temel noktalarını bünyesinde birleştirir.
Parçacık özelliklerini açıklamak	**Hayır.** Önemli bir amaçtır. Başarılması durumunda son derece köklü bir açıklama sunacaktır –ama başarılı bir kuantum kütleçekimi kuramı için şart değildir.	**Belirsiz; öngörü yok.** Sicim kuramı, kuantum alan kuramının ötesine geçerek parçacık özelliklerini açıklayan bir çerçeve sunar. Ancak bugüne kadar bu potansiyel tam olarak kullanılamamıştır. Ekstra boyutların olası pek çok değişik şekilleri bulunması çok çeşitli parçacık özelliklerinin varlığına işaret etmektedir. Şu an için belli bir şekli diğerlerinden ayırmamıza imkân veren bir yöntem mevcut değildir.
Deneysel kanıtlar	**Evet.** Bir kuramın doğayı doğru bir şekilde tanımlayıp tanımlamadığını belirleyecek tek yoldur.	**Belirsiz; öngörü yok.** Bu, en önemli ölçüttür. Bugüne kadar sicim kuramı bu ölçütle sınanmamıştır. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı deneyleri ve uydu teleskoplarıyla yapılan gözlemler sicim kuramı için veri sağlayabilir, ancak şu andaki teknolojinin bu amaca ulaşacak kadar gelişmiş olduğunun güvencesini veremeyiz.
Tekillikleri gidermek	**Evet.** Kuantum kütleçekimi kuramı, fiziksel olarak gerçekleşebilir durumlarda –sadece ilkesel düzeyde bile olsa–ortaya çıkan tekilliklerin anlaşılmasını sağlamalıdır.	**Mükemmel.** Büyük gelişme: Sicim kuramıyla çok çeşitli tekillikler çözüme kavuşturulmuştur. Kuramın hâlâ kara delik ve büyük patlama tekilliklerini ele alması gerekmektedir.
Kara delik entropisi	**Evet.** Bir kara deliğin entropisi genel görelilikle kuantum mekaniğinin buluştuğu önemli bir bağlamdır.	**Mükemmel.** Sicim kuramı 1970'lerde ortaya atılan entropi denklemini net biçimde hesaplama ve doğrulama konularında başarılı olmuştur.
Matematiksel katkılar	**Hayır.** Doğayı açıklayan doğru kuramların matematiksel kavrayışlar üretmesi şart değildir.	**Mükemmel.** Sicim kuramını doğrulamak için matematiksel kavrayışlar elde etmemiz gerekmese de kuramdan önemli matematiksel kavrayışlar çıkmış, bunlar da kuramın matematiksel yanının güçlü olduğunu ortaya koymuştur.

V. Bölüm

Yanı Başımızdaki Boyutlarda Asılı Duran Evrenler

Zar Çoklu Evreni ve
Döngüsel Çoklu Evren

Yıllar önce bir gece geç saatlerde, ertesi gün fizik dersinden vereceğim birinci sınıf final sınavını hazırlamak için Cornell Üniversitesi'ndeki ofisimdeydim. Bu, en başarılı sınıf olduğu için, öğrencilerime nispeten zor bir problem sorup onların konuları biraz daha derinlemesine düşünmelerini istemiştim. Ancak saat geç olmuş, karnım acıkmıştı. Bu nedenle olası başka problemler düşünmek yerine, öğrencilerin bildiği standart bir problemi biraz değiştirerek bir sınav sorusu hazırlayıp evimin yolunu tuttum. (Ayrıntıya girmeme gerek yok ama problem duvara dayalı bir merdivenin kayıp düşmesi sonucu ortaya çıkan hareketin hesaplanmasıyla ilgiliydi. Yaptığım değişiklik merdivenin özkütlesini merdiven boyunca değişken tanımlamaktı.) Ertesi sabah sınav sırasında ben de oturup bir yanıt anahtarı hazırlamaya giriştim. Problem üzerinde yaptığım değişikliğin soruyu fazla zorlaştırıp zorlaştırmadığını anlamaya çalı-

şıyordum. Problemin orijinal biçimi yarım sayfalık bir çözüm gerektirirken, benim sorduğum sorunun çözümü altı sayfa tutmuştu. El yazım büyüktür ama demek istediğimi anlamışsınızdır.

Anlattığım bu kısa örnek, istisnai bir durumdan çok kurala dikkat çekmektedir. Ders kitaplarındaki problemler biraz gayret gösterilirse tümüyle çözülebilecek türden, dikkatlice hazırlanmış özel problemlerdir. Ancak ders kitaplarındaki bu problemlerin ya varsayımlarını ya da basitleştirilmiş yanlarını biraz değiştirmeye kalkarsanız, birdenbire içinden çıkılması zor problemler haline gelirler. Diğer bir deyişle, tıpkı gerçek dünyadaki durumların çözümü kadar zor problemler ortaya çıkar.

Gerçek şu ki gezegenlerin hareketlerinden parçacıkların etkileşimlerine kadar pek çok olgu, matematiksel açıdan eksiksiz bir kesinlikle tanımlanamayacak ölçüde karmaşık olaylardır. Bu derecede bir kesinliği sağlamaya çalışmak yerine, kuramsal fizikçinin işi, söz konusu bağlamda hangi içinden çıkılmaz noktaları göz ardı edeceğini, buna karşın yine de temel ayrıntılara yönelik matematiksel açıklamaları nasıl üretebileceğini bulmaktır. Söz gelimi, dünyanın dönüşüyle ilgili öngörülerde bulunacaksanız, güneşin kütleçekimi etkilerini hesaba katmanız gerekir. Ama buna ayın kütleçekimi etkisini de eklerseniz daha hassas bir sonuç elde edebilirsiniz ancak sürecin matematiksel yanı çok daha karmaşık hale gelir. (On dokuzuncu yüzyılda Fransız matematikçi Charles-Eugène Delaunay güneşin, dünyanın ve ayın aralarında oluşan kütleçekiminin karmaşıklığı ile ilgili 900 sayfalık iki ciltlik bir çalışma yayınlamıştı.) Daha da ileri gidip diğer tüm gezegenlerin çekim etkisini de eklemeye kalkarsanız, durum içinden çıkılmaz derecede karmaşık bir hal alır. Neyse ki pek çok hesaplamada diğerlerinin etkisini rahatça göz ardı edip yalnızca güneşin etkisini dikkate alabilirsiniz, zira güneş sistemindeki diğer cisimlerin dünyanın hareketi üzerindeki etkisi azdır. Bu türden yaklaştırma örnekleri fizikte neyin göz ardı edileceğine karar verebilmenin fizik zanaatının özü olduğu savımı desteklemektedir.

Ancak araştırma yapan fizikçilerin gayet iyi bildikleri gibi, bazı noktaları göz ardı ederek yaklaştırmalar yapmak yeni gelişme-

ler açısından bir yandan işe yararken diğer yandan riskli olabilir. Bir konuyu araştırırken pek de önemli olmayan karmaşıklığa yol açan bir ayrıntı, başka bir konu açısından son derece önemli olabilir. Tek bir yağmur damlası normalde üzerine düştüğü kocaman bir kaya parçasının ağırlığını etkilemeyecektir. Ancak, bu kaya parçası bir uçurumun kenarında düşmekle düşmemek arasında bir noktada duruyorsa, o minicik yağmur damlası pekâlâ kayanın düşmesine neden olabilir. Böyle bir durumda bu yağmur damlasının etkisini göz ardı eden bir yaklaştırma çok önemli bir ayrıntıyı kaçırmış olur.

1990'ların ortalarında, sicim kuramcıları bu yağmur damlası etkisine benzer bir şeyin farkına vardılar. Sicim kuramını analiz ederken yaygın bir biçimde kullanılan çeşitli matematiksel yaklaştırmalar önemli bazı fiziksel noktaları göz ardı etmekteydi. Daha kesin matematiksel yöntemlerin geliştirilip uygulanmasıyla sicim kuramcıları nihayet bu yaklaştırmaların ötesine geçip kuramın beklenmedik bazı özelliklerini ortaya çıkarabildiler. Bunlar arasında yeni paralel evren tipleri de vardı ve özellikle bunların bir çeşidi deneysel olarak belki en rahat bulunabilecek paralel evren tipidir.

Yaklaştırmaların Ötesinde

Kuramsal fiziğin yerleşmiş her temel alanı –klasik mekanik, elektromanyetizma, kuantum mekaniği ve genel görelilik gibi– ana bir denklem ya da denklem kümesi ile tanımlanır. (Bu denklemleri bilmeniz gerekmiyor ama yine de bazılarını notlar bölümünde sıraladım.)[1] İşin zor yanı şu ki çok basit durumları saymazsak bu denklemlerin çözülmesi son derece güçtür. Bu nedenle, fizikçiler genellikle işin matematiksel yanını biraz kolaylaştıracak basitleştirmeler –örneğin Plüton'un kütleçekimini göz ardı etmek ya da güneşi kusursuz biçimde yuvarlak olarak ele almak gibi– kullanırlar.

Uzun bir süre, sicim kuramı kapsamındaki çalışmalar çok daha ciddi zorluklarla karşı karşıya kaldı. Temel denklemlerin belirlenebilmesi o kadar zordu ki fizikçiler yalnızca yaklaşık denklemler geliştirebiliyorlardı. Bu yaklaşık denklemler bile aslın-

da öylesine karmaşıktı ki fizikçiler çözüme ulaşabilmek için basitleştirici varsayımlarda bulunmak zorunda kalıyorlardı. Yani araştırmalarını yaklaştırmalar üzerine yapılmış yaklaştırmalara dayandırıyorlardı. Fakat 1990'lı yıllarda dikkate değer ilerleme kaydedildi. Bir dizi gelişme sayesinde bir grup fizikçi, yaklaştırmaların ötesine nasıl geçilebileceğini gösterip emsalsiz bir açıklık ve kavrayışa kapıları açtılar.

Bu gelişmeleri biraz anlayabilmek için şöyle bir örnek düşünelim. Diyelim ki Ralph her hafta düzenlenen uluslararası bir lotoyu önümüzdeki iki haftada oynamayı planlıyor ve kazanma olasılığını da hesaplamış. Alice'e her çekiliş için milyarda 1 kazanma şansı olduğunu, eğer iki çekilişte de oynarsa kazanma şansının milyarda 2 olacağını söylüyor. Yani 0,000000002. Alice gülerek "Aslında *yaklaştın,* Ralph," diyor. "Gerçekten mi, bayan ukala? *Yaklaştın* demekle ne kastediyorsun?" diyor Ralph. Alice yanıtlıyor, "Olasılık değerini olması gerekenden yüksek hesaplamışsın. İlk çekilişte lotoyu kazanırsan, ikinci çekilişte de oynaman kazanma şansını artırmaz; zaten kazanmışsındır. Eğer iki kez kazanırsan, elbette daha çok paramız olur, ama herhangi bir biçimde kazanma şansını hesapladığın için, birincisinden sonra ikinci çekilişi kazanman bir şey ifade etmez. Tam cevabı bulabilmen için, *her iki çekilişi de* kazanma şansını –yani milyarda 1 kere milyarda 1; diğer bir deyişle, 0,000000000000000001– çıkartman gerekir. Bu da sonuçta 0,000000001999999999 yapar. Anladın mı, Ralph?"

Çokbilmişliğini bir tarafa bırakırsak, Alice'in yöntemi fizikçilerin *pertürbatif yaklaşım* olarak adlandırdıkları yönteme bir örnektir. Hesabın üzerinden ilk geçişte sadece en aşikar katkılar – Ralph'in başlangıç noktası– dahil edilir, sonra daha ince ayrıntıları içeren, Alice'in katkısında olduğu gibi, ilk geçişin cevabını ufak miktarda değiştiren ya da cevaba küçük tedirgemeler veren bir ikinci geçiş yapılır. Bu yaklaşım kolayca genelleştirilebilir. Eğer Ralph önümüzdeki on haftanın çekilişleri için loto oynamayı planlasaydı, ilk geçişteki yaklaşımla, kazanma şansının milyarda 10, yani, 0,00000001 olacağını ileri sürebilirdi. Ama bir önceki örnekte olduğu gibi, bu yaklaştırma birden çok kez ka-

zanması durumunu doğru biçimde hesaba katmakta yetersiz kalır. Alice hesabı devraldığında, onun hesabın üstünden ikinci geçişi Ralph'in iki kez kazanması durumunu –örneğin, birinci ve ikinci turda, ya da birinci ve üçüncü turda, ya da ikinci ve dördüncü turda– uygun biçimde hesaba katar. Bu düzeltmeler, yukarıdaki örnekte Alice'in belirttiği gibi, milyarda 1 kere milyarda 1 oranındadır. Ancak, çok daha düşük de olsa Ralph'in üç kez kazanma olasılığından da söz edilebilir. Alice'in üçüncü geçişi, o zaman, milyarda 1 kerenin üç kere kendisiyle çarpımı, yani 0,000000000000000000000000001, oranında bir değişikliğe yol açar ve üç kere kazanma durumunu hesaba katmış olur. Dördüncü geçiş, daha da düşük olasılıklı dört kez kazanma durumu için aynı şeyi yapar ve hesap bu şekilde devam eder. Her yeni katkı bir öncekinden çok daha küçük oranları gösterecek ve Alice bu şekilde uğraşıp duracaktır. Ama bir noktada cevabın yeterince doğruya yakın olduğuna hükmedip hesaplamayı bırakacaktır.

Fizikte ve bilimin başka birçok alanında hesaplamalar benzer biçimde yapılmaktadır. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda karşı yönlerden gelen iki parçacığın birbirleriyle çarpışma olasılığını hesaplamak isterseniz, ilk hesaplama aşamasında bir kez çarpışıp sekeceklerini düşünebilirsiniz (burada "çarpışma" kavramını doğrudan temas ettikleri anlamında değil, örneğin foton gibi, kuvvet taşıyan tek bir "kurşun"un bir parçacıktan çıkıp diğeri tarafından emilmesi anlamında almalısınız). İkinci aşama hesaplamada, parçacıkların birbirleriyle iki kez çarpışmaları olasılığını ele alırsınız (aralarında iki foton alışverişi); üçüncü aşamada, önceki iki aşamada elde edilen olasılık oranını ufak bir miktar

Şekil 5.1 İki parçacık (her diyagramın sol tarafındaki koyu çizgilerle gösterilmiştir) birbirlerine çeşitli "kurşunlar" atarak etkileşime girip ("kurşunlar" şekilde dalgalı çizgilerle gösterilen kuvvet taşıyıcı parçacıklardır) daha sonra ileriye doğru sekerler (her diyagramın sağ tarafındaki koyu çizgilerle gösterilmiştir). Her bir diyagram parçacıkların birbirlerinden sekerek uzaklaşma olasılığına katkıda bulunur. Daha fazla kurşunla gerçekleşen süreçlerin katkıları daha azdır.

değiştirir, parçacıkların birbirleriyle üç kez çarpıştığını varsayarak hesaplamalar yaparsınız ve bu böyle sürüp gider (Şekil 5.1). Ralph'in loto olayındaki gibi, bu pertürbatif hesaplama, parçacıkların daha çok kez etkileşme şansı hızla düştüğünde –lotoyu çok kez kazanma şansı gibi– işe yaramaktadır.

Loto örneğinde kazanma olasılığının ne kadar düştüğü, her bir ardışık kazanma durumu için gelen milyarda 1 çarpanı belirlenmektedir. Fizik örneğinde ise bu düşüş, parçacıkların ardışık her bir çarpışması için gelen adına *eşleşme (bağlanma) sabiti* denilen sayısal bir çarpanla belirlenir. Eşleşme sabitinin değeri, bir parçacığın kuvvet taşıyıcı bir kurşunu ateşlemesi ile diğer parçacığın bunu yakalaması süreci ile ilgili olasılığı gösterir. Elektromanyetik kuvvetle yönlendirilen elektron gibi parçacıklar için deneysel ölçümler foton kurşunlarıyla ilişkili eşleşme sabitinin 0,0073 civarında olduğunu belirlemiştir.[2] Zayıf nükleer kuvvetle etkileşim gerçekleştiren nötrinolar için eşleşme sabiti 10^{-6}dır. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda hızla dolanan protonların bileşeni olan ve etkileşimleri güçlü nükleer kuvvetle yönlendirilen kuarklar içinse eşleşme sabiti 1'den biraz küçüktür. Bu oranlar Ralph'in oynadığı lotodaki oran kadar, yani 0,000000001 kadar küçük değildir, ama örneğin 0,0073'ü kendisiyle çarpacak olursak, çıkan sonuç birden çok küçük bir sayıdır. Bu işlemi bir kere yaparsak, elde edilen sonuç 0,0000533, ikinci tekrarda 0,000000389 olur. Bu da kuramcıların elektronların birbirleriyle çok sayıda çarpışma süreçlerini hesaplamaya neden girmediklerini açıklamaktadır. Çok sayıda çarpışma hesaplarının yapılması son derece karmaşık bir iş olup elde edilecek sonuçlar da dikkate alınacak ölçüde bir katkı sağlamazlar. Bu nedenle, sadece birkaç foton atışını hesaplasanız bile yine de son derece doğru yanıtlara ulaşırsınız.

Fizikçiler elbette kesin sonuçlara ulaşmayı önemserler. Ancak pek çok hesaplama matematiksel açıdan son derece karmaşıktır. Bu yüzden pertürbatif yaklaşım tercih edilebilecek en uygun yoldur. Neyse ki yeterince küçük eşleşme sabitleriyle yapılan yaklaşık hesaplamalarla, deneysel sonuçlarla son derece uyumlu öngörüler üretmek mümkün olmaktadır.

Benzer bir pertürbatif yaklaşım uzun süredir sicim kuramı araştırmalarında da benimsenmiştir. Kuramda, adına *sicim eşleşme sabiti* (kısaca, *sicim eşleşmesi*) denilen ve bir sicimin diğerinden sekme olasılığını gösteren bir sayı vardır. Kuramın doğruluğu kanıtlanırsa, bir gün sicim eşleşmesi de ölçülebilir. Ancak böylesi bir ölçüm günümüzde sadece düşüncede kaldığı için sicim eşleşmesinin değeri tam anlamıyla bir bilinmeyen durumundadır. Geçtiğimiz birkaç on yıl içinde, herhangi bir deneye dayanmadan da olsa sicim kuramcıları sicim eşleşmesini gösterecek sayının küçük bir sayı olduğuna dair önemli bir varsayımda bulundu. Bu durum, bir bakıma, sokak lambası altında anahtarlarını arayan bir sarhoşun durumuna benzetilebilir çünkü küçük sicim eşleşmesi fizikçilerin pertürbatif yaklaşımlarının parlak ışıklarını hesaplamalarına tutmalarına olanak sağlamıştır. Sicim kuramı öncesi pek çok başarılı yaklaşımda da küçük eşleşmelerle karşılaşılmış olması, sarhoşun anahtarlarını sıklıkla aydınlatılmış alanda bulmuş olmasından dolayı haklı bir cesaret kazanmış olma durumuna benzemektedir. Her hâlükârda bu varsayım yalnızca sicimlerin birbirleriyle nasıl etkileşime girdiklerini değil, konunun temel denklemlerine dair pek çok şeyi de açıklayan bir dizi matematiksel hesaplamayı mümkün kılmıştır.

Eğer sicim eşleşmesi *küçükse*, bu yaklaşık hesaplamaların sicim kuramının fiziğini doğru biçimde göstermesi beklenir. Ama ya değilse? Loto örneğinde ve çarpışan elektronlarla ilgili bulduklarımızdan farklı olarak büyük bir sicim eşleşmesi, ilk aşamadan sonraki aşamalarda yapılan her hesaplamanın gittikçe büyüyen katkılarda bulunduğunu, bu nedenle de hiçbir zaman hesaplamayı sonlandırmamamız gerektiğini ifade edecektir. O zaman, pertürbatif yaklaşımı kullanan binlerce hesaplama anlamını yitirecek, yıllarca süren araştırmalar çökecektir. Bunun da ötesinde, küçük bir sicim eşleşmesiyle bile, en azından bazı durumlarda, yaptığınız yaklaşık hesaplamalarla, tıpkı kaya parçasına çarpan tek bir yağmur damlası örneğindeki gibi, aslında çok önemli fiziksel olguları gözden kaçırdığınıza endişelenebilirsiniz.

1990'ların başlarında bu tür konularda söylenecek çok şey yoktu. Aynı on yılın ikinci yarısında ise suskunluk yerini ortaya atılan çarpıcı bir bakış açısına bıraktı. Araştırmacılar, *ikilik* olarak adlandırılan bir şey geliştirerek pertürbatif yaklaştırmaları ikinci plana atan yeni matematiksel yöntemler buldular.

İkilik

1980'lerde kuramcılar yalnızca tek bir sicim kuramı olmadığını, aslında beş ayrı sicim kuramından söz edilebileceğini belirterek her birine *Tip I, Tip IIA, Tip IIB, Heterotik-O ve Heterotik-E* gibi isimler verdiler. Şu ana kadar bu tiplerden hiç söz etmedim çünkü her ne kadar ayrıntılarda farklılaşsalar da şu ana kadar üzerinde durduğumuz önemli temel savları –titreşen sicimler ve uzayın ekstra boyutları– paylaşırlar. Şimdi artık sicim kuramının bu farklı versiyonlarını ele alabiliriz.

Uzun yıllar boyunca fizikçiler bu sicim kuramlarından her birini analiz ederken pertürbatif yöntemlere dayanmışlardı. Tip I sicim kuramı üzerinde çalışırlarken, sicim eşleşmesinin küçük olduğunu düşünerek, tıpkı Ralph ve Alice'in lotoda kazanma olasılığını hesapladıkları gibi, çok aşamalı hesaplamaları kullanmaya devam ettiler. Heterotik-O'yu ya da diğer sicim kuramlarını çalışırken de aynı şeyi yaptılar. Ancak araştırmacılar küçük sicim eşleşmesinin tanımladığı sınırlı alanın dışında kullandıkları matematiğin güvenilir bir bakış açısı sağlamak için zayıf kaldığını kabul edip pes etmekten fazlasını yapamamaktaydılar.

Ta ki 1995'in ilkbaharında Edward Witten bir dizi şaşırtıcı sonuçla sicim kuramı çevrelerini yerinden oynatana kadar. Joe Polchinski, Michael Duff, Paul Townsend, Chris Hull, John Schwarz ve Ashoke Sen gibi birçok bilim insanının derin kavrayışlarına da dayanarak Witten, sicim kuramcılarının küçük eşleşmelerin ötesine güvenle geçebileceklerine dair güçlü kanıtlar öne sürdü. Temel fikir oldukça basit ve etkiliydi. Witten'a göre, sicim kuramının herhangi bir formülasyonunda eşleşme sabiti giderek daha büyük değerlere ayarlanırsa, kuram –dikkati çekecek biçimde– giderek bilinen bir şeye dönüşüyor: Eşleşme sabitinin giderek daha küçük

değerler aldığı sicim kuramının diğer formülasyonlarından birine. Örneğin, Tip I sicim eşleşmesi değeri büyükse, eşleşme değeri küçük olan Heterotik-O sicim kuramına dönüşür. Bu da beş ayrı sicim kuramının özünde farklı olmadıklarını gösteriyor. Her bir kuram, sınırlı bir bağlamda –her bir kuramın kendi eşleşme sabitinin küçük değerleri çerçevesinde– ele alındığında birbirlerinden farklıymış gibi gözüküyor, ama bu sınırlama ortadan kaldırıldığında her bir sicim kuramı diğerlerine dönüşüveriyor.

Yakınlarda harika bir grafikle karşılaştım. Yakından bakınca Albert Einstein'ı görüyordum. Biraz uzaklaşınca görüntü belirsizleşiyordu ama iyice uzaktan bakınca Marilyn Monroe'yu görebiliyordum (Şekil 5.2). Çok yakından ve çok uzaktan –yani iki uç noktadan– baktığınızda farklı görüntüler görüyorsanız, iki farklı resme baktığınızı düşünürsünüz. Ancak görüntüyü uzaklığı düzenli bir şekilde artırarak dikkatlice incelerseniz, Einstein ve Monroe resimlerinin aslında tek bir resmin ayrıntıları ile ortaya çıktığını fark edersiniz. Benzer biçimde, iki ayrı sicim kuramını incelediğinizde, her birinin sicim eşleşmesinde küçük değerle-



Şekil 5.2 Bu görüntüye yakından bakınca Albert Einstein'ı görürsünüz. Çok daha uzaktan bakınca Marilyn Monroe'yu görürsünüz. (Bu görüntü Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden Aude Oliva tarafından oluşturulmuştur.)

rin söz konusu olduğu uç noktada, bu kuramlar tıpkı Einstein ve Monroe resimlerinde olduğu gibi, birbirlerinden farklı kuramlar gibi gözükecektir. Sicim kuramcılarının yaptığı gibi o noktada kalırsanız, iki ayrı kuram olduğunu zannedip durursunuz. Ancak, kuramların eşleşmelerini daha büyük ara değerler alacakları bir aralıkta değiştirerek incelerseniz, Albert'in Marilyn'e dönüşmesi gibi, her bir kuramın da bir diğerine dönüştüğünü fark edersiniz.

Görüntünün Einstein'dan Monroe'ya dönüşmesi oldukça eğlencelidir. Bir sicim kuramının başka bir sicim kuramına dönüşmesi ise bakış açılarında dönüşüm anlamına gelir. Buna göre, bir sicim kuramında, eşleşme çok büyük değerde olduğu için pertürbatif hesaplamalar yapılamıyorsa, hesaplamalar sicim kuramının başka bir formülasyonuna, yani eşleşme değeri küçük olduğu için pertürbatif yaklaşımın kullanılabileceği bir dile rahatlıkla çevrilebilir. Fizikçiler, birbirlerinden böyle naif farklılıklar gösteren kuramlar arasındaki geçişi *ikilik* olarak adlandırmaktadır. İkilik, modern sicim kuramı araştırmalarında en çok kullanılan temalardan biri haline gelmiştir. Tek ve aynı olan fiziğe iki ayrı matematiksel yaklaşım getiren ikilik, böylece hesaplama süreçlerinde de iki farklı yol anlamına gelmektedir. Bir bakış açısından son derece zor olan hesaplamalar, başka bir bakış açısından gayet rahat yapılabilmektedir.*

Witten'a göre, beş sicim kuramının hepsi bu türden ikiliklerle kendi aralarında bir tür ağ oluşturmaktadırlar –diğer kuramcılar daha sonra ayrıntıları tamamlamışlardır.[3] Bu kuramların tümünü bütünleyen ve *M-kuramı* olarak adlandırılan (nedenine az sonra değineceğiz) kuram, birbirlerine ikilik ilişkileri ile bağlanmış beş formülasyona ait kavrayışları, her bir kurama dair daha derin bir anlayış kazanmak için bir araya getirmektedir. Konumuz açısından çok önemli olan böylesi bir anlayış, sicim kuramında sicimlerden çok daha fazlasının bulunduğunu göstermiştir.

* Bunu IV. Bölüm'de değinilen, ekstra boyutların farklı biçimlerinin eş fiziksel modellere yol açabileceğine dair sonuçların geniş ölçekli genellemesi olarak düşünebilirsiniz.

Zarlar

Sicim kuramı üzerinde çalışmaya başladığımda çoğu kişinin yıllardır bana sorduğu soruyu sormuştum: Sicimler neden o kadar önemli? Neden yalnızca uzunluğu olan temel unsurlara odaklanıyoruz? Eğer kuramın esas aldığı unsurların bulunduğu sahada –uzaysal evren– dokuz boyut varsa, o zaman neden iki boyutlu örtü ya da üç boyutlu kabarcık benzeri ve hatta daha fazla boyuta sahip varlıkları hiç dikkate almıyoruz? 1980'lerde doktora öğrencisi olarak öğrendiğim ve 1990'ların ortalarına kadar da bu konuda ders verirken sıkça yaptığım açıklama şöyleydi: Matematik birden fazla boyuta sahip temel içerikleri tanımlarken çok ciddi tutarsızlıklarla karşılaşıyordu (söz gelimi, negatif olasılıklara sahip kuantum süreçleri, yani anlamsız matematiksel sonuçlar). Ancak aynı matematik sicimlere uygulandığında tutarsızlıklar ortadan kalkıyor ve yerini kabul edilebilir bir tanıma bırakıyordu.*[4] Sicimler gerçekten de kendilerine özgü ayrı bir grup oluşturuyordu.

Ya da öyle gözüküyordu.

Fizikçiler bu yeni hesaplama yöntemlerini kullanarak bu kez denklemlerini çok daha kesin biçimde analiz etmeye ve bir dizi beklenmeyen sonuca ulaşmaya başladılar. Bu sonuçlardan en şaşırtıcı olanı, sicimler dışında herhangi bir şeyi göz ardı etmenin yeterince sağlam temellere dayanmadığını ortaya koydu. Kuramcılar, diskler ya da kabarcıklar gibi yüksek boyutlu unsurlar üzerinde çalışırken karşılaştıkları matematiksel problemlerin, kullanılan yaklaştırmaların kalıntıları olduğunu fark ettiler. Küçük bir grup kuramcı ordusu, daha kesin sonuçlara götüren yöntemler kullanmaya başlayınca, farklı sayıda ekstra boyutlara sahip çeşitli unsurların sicim kuramı matematiği kapsamında gerçekten de ortaya çıktığını gördü. [5] Pertürbatif teknikler bu unsurları açığa çıkarmak için çok kaba kalmakta, oysa yeni yöntemler nihayet bunu başarabilmek-

* Bu, matematiksel bir mucizenin sonucu değildi. Aslında, sicimler son derece simetrik olan biçimlerdi ve tutarsızlığı ortadan kaldıran da işte bu simetriydi. Ayrıntılı bilgi için 4. Not'a bakınız.

teydi. 1990'ların sonuna doğru, sicim kuramının sadece sicimleri ele alan bir kuram olmadığı artık net olarak anlaşılmıştı.

Yapılan analizlerle, frizbi ya da uçan halı benzeri, iki uzay boyutu olan objeler bulundu: *iki-zar* olarak da adlandırılan membran*lar* (M-kuramındaki "M"nin bir anlamı da budur). Ancak bu kadarla kalmadı. *Üç-zar* olarak da adlandırılan *üç* uzay boyutu olan objeler; *dört-zar* olarak adlandırılan dört uzay boyutu olan objeler, *dokuz-zar*a kadar böyle gider. Matematik, tüm bu cisimlerin tıpkı sicimler gibi titreşebildiğini ve kıpırdandığını gösterdi. Bu bağlamda kuramın birçok temel yapı taşından yalnızca biri olan sicimler *tek-zar* olarak düşünülebilirler.

Mesleki yaşamlarının önemli bölümünü bu konuları çalışarak geçirmiş kişileri bile şaşırtan bir keşif şu oldu: Kuramın gerektirdiği uzay boyutlarının sayısı aslında dokuz değil, ondur. Zaman boyutunu da içine katarsak uzay-zaman boyutlarının toplam sayı on bire çıkar. Bu nasıl olabilmektedir? IV. Bölüm'de değindiğimiz ve sicim kuramının on uzay-zaman boyutuna ihtiyaç duymasıyla ilgili olan (D–10) kere *Problemli Terim* konusunu hatırlayın. Bu denklemi ortaya koyan matematiksel analiz sicim eşleşmesinin küçük olduğunu varsayan pertürbatif bir yaklaştırmaya dayanıyordu. Şaşırtıcı bir şekilde, bu yaklaştırma, kuramdaki uzaysal boyutlardan bir tanesini atlamıştı. Witten bunun nedeninin sicim eşleşmesi değerinin uzayın o güne kadar bilinmeyen onuncu boyutunun büyüklüğünü doğrudan kontrol etmesi olduğunu gösterdi. Eşleşmeyi küçük kabul eden araştırmacılar farkında olmadan uzay boyutunu da küçük yapmış oluyorlardı –o kadar küçük ki bu matematiğin kendisine bile görünmez nitelikte. Daha kesin yöntemler bu yanlışı ortadan kaldırarak on boyutlu uzay kavramını, dolayısıyla on bir boyutlu uzay-zaman kavramını öngören sicim/M-kuramının gelişmesini sağladı.

1995'te Güney Kaliforniya Üniversitesi'nde yapılan uluslararası sicim kuramı konferansında Witten İkinci Sicim Kuramı Devrimi olarak anılan bu sonuçların bazılarını ilk kez açıkladığında izleyenlerin şaşkın ve gözleri fal taşı gibi açılmış bir şekil-

de baktıklarını hatırlıyorum.* Çoklu evren modelinde, ana kavram "zar"lardır. Araştırmacıları paralel evrenlerin başka bir çeşidine götüren de bu zar kavramı olmuştur.

Zarlar ve Paralel Dünyalar

Normalde sicimlerin son derece küçük olduklarını düşünürüz. Bu özellik kuramın sınanmasını son derece zor hale getirir. Bununla birlikte, IV. Bölüm'de sözünü ettiğim gibi, sicimler her zaman bu kadar küçük olmak zorunda değildir. Bir sicimin boyu sahip olduğu enerjiye bağlıdır. Elektronların, kuarkların ve bilinen diğer parçacıkların enerjileri o kadar küçüktür ki sicimleri de bu yüzden son derece küçük olur. Ama sicime yeterli enerji yüklendiğinde uzunluğu da artar. Dünyada bunu deneysel olarak sağlayacak hiçbir imkân bulunmamakta, bu da teknolojik gelişmemizin sınırlarını göstermektedir. Eğer sicim kuramı doğruysa, çok daha gelişmiş bir uygarlığın olanakları içinde sicimlerin boyutu istenilen ölçülere çıkartılabilir. Doğal kozmolojik olayların da uzun sicimler üretme kapasitesi vardır; örneğin, sicimler uzayın belli bir kısmının etrafına sarmalandıklarında kozmolojik genişleme sürecine yakalanıp gerilerek uzunlukları artabilir. Tablo 4.1'de özetlenen olası deneysel işaretlerin birinde, uzayın derinliklerinde titreşen böylesi uzun sicimlerin yaydığı kütleçekimi dalgaları araştırılmaktadır.

Sicimler gibi, yüksek boyutlu zarlar da büyük olabilir. Bu da kozmosun sicim kuramıyla tanımlanmasında yepyeni bir anlayış demektir. Demek istediğimi daha iyi anlayabilmek için önce zihninizde gözün alabildiği uzunlukta bir elektrik kablosu benzeri bir sicim canlandırın. Sonra, geniş yüzeyi sonsuzlukta yayılıp giden muazzam bir masa örtüsü ya da dev boyutlu bayrak benzeri geniş iki-zar canlandırın. Alışık olduğumuz üç boyutlu dünyada bunların gözümüzde canlandırılması zor olmayacaktır.

Üç-zar büyük, hatta olağanüstü büyükse, o zaman durum değişir. Bu türden üç boyutlu bir zar, tıpkı akvaryumu dolduran

* İlk devrim John Schwarz ve Michael Green'in 1984 yılına ait sonuçlarıydı. Bu sonuçlar konunun modern versiyonunun başlangıcı olmuştu.

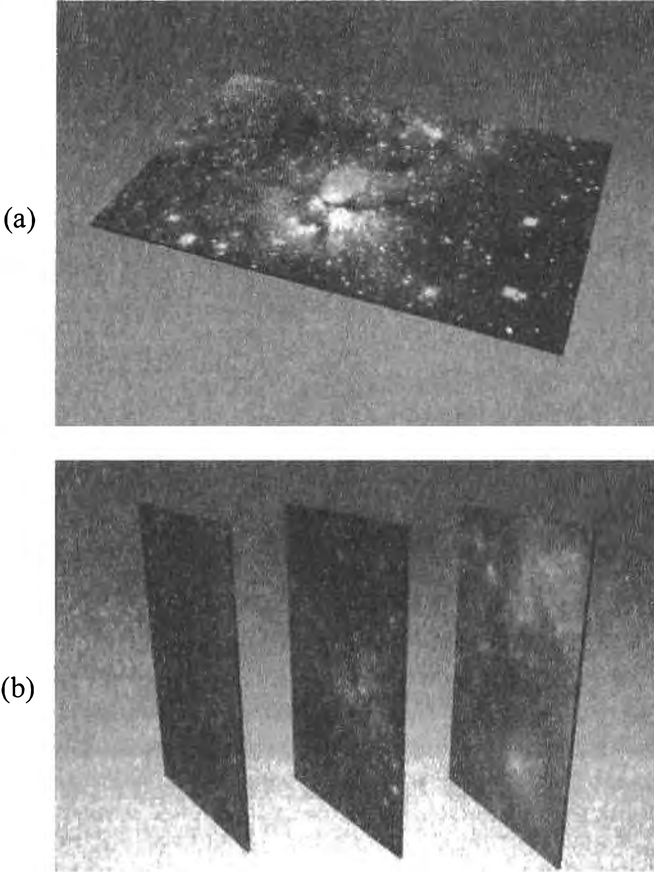
su gibi, içinde var olduğumuz uzayın her tarafını doldurur. Böyle bir durumda üç-zarı, yaşadığımız evrende yer alan üç boyutlu bir nesne bağlamında düşünmek yerine, uzayın kendisi olarak düşünmenizde yarar var. Balığın suda yaşaması gibi, bizim de uzayı dolduran bir üç-zar içinde yaşadığımızı düşünmemiz gerekir. O zaman içinde yaşadığımız uzay genelde sanılanın aksine çok daha nesnesel kabul edilmelidir. Uzayın kendisi üç-zar olarak bir nesne, bir varlık olacaktır. Koşarken ya da yürürken, nefes alıp yaşarken aslında yaptığımız üç boyutlu bir zar içinde gidip gelmektir. Sicim kuramcıları bunu *zar evren senaryosu* olarak adlandırmaktadır.

Paralel evrenler kavramı da işte bu noktada devreye girmektedir.

Üç-zar ve üç boyutlu uzay kavramları arasındaki ilişki üzerinde özellikle duruyorum çünkü her gün yaşadığımız gerçekliğin bildiğimiz özelliklerinden hareket etmek istedim. Ancak sicim kuramında uzayın üç boyutundan çok daha fazlası ele alınmaktadır. Elinizde böyle yüksek boyutlu bir uzay varsa içinde birden fazla üç-zar barındırabilir. Şimdi uç noktalara gitmeden, önce iki tane son derece büyük üç-zar düşünelim. Bunu gözünüzde canlandırmak biraz zor gelebilir. Şahsen bana zor geliyor. İnsanın evrimi bizi her durumda nesneleri üç boyutlu bir uzayda algılamaya hazırladı. Sonuç olarak, uzayın herhangi bir yerinde bulunan iki tane üç boyutlu nesneyi kolayca gözümüzde canlandırabilsek de çok azımız bir arada var olan ancak birbirlerinden ayrı ve her biri üç boyutlu uzayı tamamen dolduran üç boyutlu nesneleri gözümüzde canlandırabiliriz. Zar evren senaryosunu anlaşılır kılmak için, uzaysal boyutlardan birini şimdilik bir tarafa bırakalım ve muazzam büyüklükteki iki-zar üzerindeki yaşamı düşünelim. Zihnimizde daha da net bir canlandırma yapabilmek için, bu iki boyutlu zarı olağanüstü genişlikte ama incecik bir ekmek dilimine benzetelim.*

* Biraz dikkatliyseniz, ekmek diliminin aslında üç boyutlu olduğunu fark edersiniz (dilimin yüzeyinde genişlik ve uzunluk, ekmeğin kalınlığında ise derinlik vardır) ama bu özellik zihninizdeki resmi bozmasın. Dilimin kalınlığı, gözümüzde geniş üç-zar kavramını canlandırmamızda yardımcı olabilir.

Bu benzetmeyi anlamlı kılmak için, şimdi ekmek diliminin evren olarak adlandırdığımız her şeyi barındırdığını düşünelim – Orion, Atbaşı ve Yengeç bulutsuları; bütün Samanyolu, Andromeda, Sombrero ve Whirlpool gökadaları vb– yani Şekil 5.3a'da gösterildiği gibi, bizim üç boyutlu uzayımız içinde, ne kadar uzakta olursa olsun yer alan her şey. İkinci üç-zarı gözümüzde canlandırabilmek içinse yine çok büyük bir ekmek dilimi düşünelim. Nerede olsun? Bir öncekinin tam yanında, ekstra boyutların içinde biraz ötede (Şekil 5.3b). Şimdi üç, dört ya da daha



Şekil 5.3 (a) Zar evren senaryosuna göre, eskiden beri kozmosun tümü zannettiğimiz şey, aslında üç-zar içinde yer almaktadır. Görsel kolaylık sağlamak için boyutlardan biri ayrı tutulup zar evren iki boyutlu olarak gösterilmektedir. Ayrıca, aslında sonsuza uzanabilen zarların sınırlı bir bölümü gösterilmiştir. **(b)** Yüksek boyutlu sicim kuramı enginliğinde birçok paralel zar evren yer alabilir.

fazla sayıda üç-zarı gözümüzde canlandırmak sanki daha kolay. Her bir dilimi kozmik ekmek somununa ekleyin. Burada somun benzetmesi, birbirlerine paralel biçimde sıralanmış zarların hepsi anlamına gelecektir, ama daha genel olasılıkları hayal etmek de artık zor değildir. Zarlar herhangi bir yönelimde yer alabilecek ve diğer boyutların zarları, daha çok ya da az boyutlu zarlar, benzer şekilde eklenebilecektir.

Hepsi tek bir kuramdan, sicim/M-kuramından kaynaklandığı için, aynı temel fizik yasaları bu zarların hepsi için geçerli olacaktır. Ancak, Şişme Evreli Çoklu Evren anlayışındaki baloncuk evrenlerde olduğu gibi, örneğin zarın içine yayılan şu ya da bu alanın değeri, hatta zarı tanımlayan uzaysal boyutların sayısı gibi çevresel ayrıntılar o zarın fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkileyecektir. Bazı zar evrenler tıpkı bizimki gibi gökadalar, yıldızlar ve gezegenlerle dolu olabilirken, bazıları tamamen farklı olabilecektir. Bu zarlardan birinde ya da diğerinde, tıpkı bizim gibi bir zamanlar kendi dilimlerini kozmosun tamamı zanneden, kendileri üzerine düşünen canlılar da yaşıyor olabilir. Sicim kuramının zar evren senaryosuna dayanarak kendi kozmosunu yegâne kozmos zannetmenin ne kadar dar bir bakış açısı olduğunu anlayabiliriz. Zar evren senaryosunda evrenimiz *Zar Çoklu Evreni* dolduran bir sürü başka evrenden sadece ve sadece bir tanesidir.

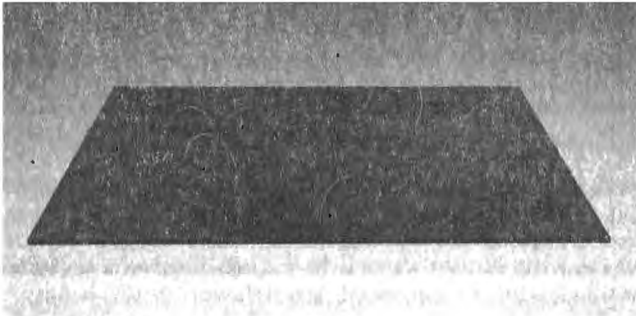
Zar Çoklu Evren düşüncesi sicim kuramı çevrelerinde ilk duyulduğunda, ilk tepki şu soru ile geldi: Eğer hemen yanı başımızda kocaman, geniş zarlar varsa ve bütün paralel evrenler de yakınlarımızda bir yerlerdeyse, onları neden göremiyoruz?

Yapışkan Zarlar ve Kütleçekiminin Sicimleri

Sicimler iki biçimde bulunurlar, kapalı (halka şeklinde) sicimler ve açık (uçları serbest) sicimler. Bu ayrımdan daha önce söz etmemiştim, çünkü kuramın temel kavramlarını anlamak için ilk başta çok gerekli değildi. Ancak zar evrenler söz konusu olduğunda bu ikisi arasındaki ayrımın önemi ortaya çıkmaktadır. Sorulacak basit bir soru ile bunun nedeni açıklanabilir. Si-

cimler zarlardan ayrılıp gidebilirler mi? Bunun yanıtı şudur: Kapalı sicimler gidebilir, ama açık sicimler ayrılıp gidemez.

İlk olarak tanınmış sicim kuramcısı Joe Polchinski'nin farkına vardığı gibi, her şey sicim parçacıklarının uç noktalarına bağlıdır. Zarların sicim kuramında önemli yeri olduğu konusunda fizikçileri görüş birliğine götüren denklemler, sicimlerle zarlar arasındaki yakın ilişkiyi de ortaya koymuştur. Şekil 5.4'te görülebileceği gibi, zarlar, açık sicimlerin uç noktalarının yer alabileceği tek yerdir. Matematik göstermiştir ki eğer bir sicimin uç noktasını zardan ayırmaya kalkarsanız, tıpkı π sayısını daha küçük ya da 2'nin karekökünü kendisinden daha büyük yapmaya çalışmak gibi imkânsız bir şeye yeltenmiş olursunuz. Bu bir çubuk mıknatısın kuzey ve güney kutuplarını ortadan kaldırmaya benzer. Bu mümkün değildir. Açık sicimler zarın içinde her tarafa serbestçe hareket edebilir, ancak zarı terk edemezler.



Şekil 5.4 Açık sicimlerin uçlarının bulunabileceği tek yer zarlardır.

Bu görüşler ilginç bir matematiksel yaklaşımdan daha fazlasını ifade ediyorsa ve hepimiz aslında bir zarda yaşıyorsak, şu an zarın sicimin uçlarını sıkı sıkı tuttuğunu hissediyorsunuz demektir. Haydi, üç-zarımızdan çıkmaya çalışın. Elinizden geldiği kadar uğraşın. Boşuna. Hep burada kalacaksınız. Bir zar evrende sizi ya da sıradan herhangi bir maddeyi oluşturan şeyler açık sicimlerdir. Yukarı doğru zıplayın, beyzbol topunu bir oyuncudan alıp öbürüne atın, radyodan bir ses dalgası kulağınıza gelsin, her ne yaparsanız yapın, zardan gelen bir direnç olmayacaktır,

o zarın dışına çıkmanız mümkün değildir. Çıkmaya çalıştığınızda açık sicimlerinizin uçları sizi zara âdeta çiviler. Gerçekliğimiz, yüksek boyutlu geniş bir alanda yüzen kalınca bir dilim olabilir, biz de bu dilimden dışarı çıkıp daha büyük kozmosu keşfetme imkânı olmadan bulunduğumuz yerde hapsolup kalmış olabiliriz.

Aynı durum, kütleçekimi dışındaki üç farklı kuvveti ileten parçacıklar için de geçerlidir. Araştırmalar, bu parçacıkların da açık sicimlerden doğduğunu göstermiştir. Bunların içinde en bilinenleri elektromanyetik kuvveti ileten fotonlardır. Gözümüzle görebildiğimiz ışık bir foton demetidir ve bulunduğumuz zar içinde, örneğin okuduğunuz metinden gözlerinize ya da Andromeda gökadasından Wilson Rasathanesi'ne kadar serbestçe yol alabilir. Ne var ki o da zardan kaçamaz. Başka bir zar evren belki milimetreler kadar ötede duruyordur ama ışık bu iki zar evren arasında geçiş yapamayacağı için, o zar evrenin varlığından asla haberdar olamayız.

Bu kapsamda farklılık taşıyan tek kuvvet kütleçekimidir. IV. Bölüm'de söz edildiği gibi, gravitonların ayırt edici özelliği, açık sicimlerden doğan kütleçekimi dışındaki kuvvetleri ileten diğer parçacıkların (fotonlar gibi) iki katı dönüye, dönü-2'ye, sahip olmalarıdır. Gravitonların her bir açık sicimin sahip olduğu dönünün iki katına sahip olması demek, bu gravitonların iki açık sicimden yapılmış olması demektir. Bu açık sicimlerin her birinin iki ucu diğerinin uçlarıyla birleşerek bir kapalı sicim oluşturmaktadır. Kapalı sicimlerin uç noktaları olmadığı için zarlar onları tutamaz, dolayısıyla gravitonlar zar evrene girip çıkabilirler. O halde, zar evren senaryosunda kütleçekimi üç boyutlu uzayımızın dışına çıkabilmemizi sağlayacak tek araç haline gelmektedir.

Bu durum sicim kuramıyla ilgili olarak IV. Bölüm'de sözünü ettiğimiz potansiyel bazı testler açısından önemli rol oynamaktadır (Tablo 4.1.). 1980'li ve 90'lı yıllarda, daha zar kavramı ortaya atılmadan, fizikçiler sicim kuramının öne sürdüğü ekstra boyutların yaklaşık olarak kütleçekimi ve kuantum mekaniğini içeren bir kuramın doğal ölçeği olan Planck büyüklüğünde (yaklaşık 10^{33} santimetrelik bir yarıçap) olduğunu düşünmüşlerdi. Ancak zar

evren senaryosu daha geniş çaplı düşünmeyi gerektirmektedir. Bilinen üç boyutun ötesini incelememize imkân veren tek kuvvet olan kütleçekimine –diğer kuvvetler içinde en zayıf olanına– dayanarak ekstra boyutların çok daha büyük olabileceğini gördük ama bu boyutlar keşfedilemedi. En azından şimdilik.

Eğer bu ekstra boyutlar gerçekten varsa ve daha önce tahmin edildiğinden *çok daha* büyüklerse –belki de milyar milyar milyar kere daha büyük (10^{-4} santimetre kadar)– o zaman, Tablo 4.1.'in ikinci sırasında sözü edilen ve kütleçekiminin şiddetini ölçen deneylerin bu boyutları belirleme şansı olabilir. Cisimler birbirlerini kütleçekimsel olarak çektiklerinde birinden diğerine akan gravitonları değiş tokuş ederler. Gravitonlar kütleçekiminin etkisini ileten görünmez kuryelerdir. Cisimler arasında ne kadar çok graviton alışverişi olursa, karşılıklı kütleçekimsel çekim o kadar güçlü olacaktır. Bu graviton akımının bir kısmı içinde bulunduğumuz zar evrenden sızıp ekstra boyutlara akarsa, cisimler arasındaki kütleçekimi etkileşimi azalacaktır. Ekstra boyutlar ne kadar büyük olursa bu çekimin gücü o kadar zayıflayacak ve zayıf bir kütleçekimi izlenecektir. Deneyler, birbirlerine ekstra boyutların boyundan yakın duran iki cismin arasındaki kütleçekiminin şiddetini dikkatlice ölçerek gravitonları kendi zarımızdan dışarı kaçmadan tutabilir, böylece kütleçekiminin göreceli olarak daha büyük değerini ölçebilirler. IV. Bölüm'de bahsetmemekle birlikte, ekstra boyutları ortaya çıkarmak için kullanılan bu yaklaşımın zar evren senaryosuna dayandığını şimdi söyleyebilirim.

Ekstra boyutların büyüklüğündeki sadece 10^{-18} santimetrelik daha mütevazı bir artış bile bu boyutların Büyük Hadron Çarpıştırıcısı tarafından belirlenmesini sağlayabilir. Tablo 4.1.'in üçüncü satırında özetlendiği gibi, protonların yüksek enerjiyle çarpışmaları sonucu saçılan parçalar ekstra boyutların içine doğru atılabilirler. Bu da kendi boyutlarımızda açıkça fark edilebilecek bir enerji kaybı demektir. Bu tür bir deney de zar evren senaryosu içinde yer almaktadır. Kayıp enerjiyi belirleyen veriler, evrenimizin bir zar üzerinde var olduğu öne sürülerek ve söz konusu sa-

çılan parçaların –gravitonlar– kendi zarımızdan dışarı kaçarken enerjiyi de alıp götürmüş oldukları iddia edilerek açıklanabilir.

Tablo 4.1.'in dördüncü satırında sözü edilen mini kara delikler de zar evren senaryosunun yan ürünüdür. Kütleçekiminin şiddetinin kısa mesafelerde daha büyük olması söz konusuysa, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda proton-proton çarpışmaları ile mini kara delikler meydana getirme şansı bulunabilir. Bunu olabilir kılan da yine zar evren senaryosudur.

Bu ayrıntılar bu deneyleri yeni bir açıdan görmemizi sağlıyor. Çünkü bu deneyler yalnızca uzayın ekstra boyutlarının ya da mini kara deliklerin varlığını araştırmıyor, bizim bir zar üzerinde yaşadığımıza dair de kanıt arıyorlar. Bu bağlamda, elde edilecek olumlu sonuçlar hem sicim kuramının zar evren senaryosunu destekleyecek, hem de kendi evrenimizin dışındaki diğer evrenlerin varlığı konusunda dolaylı bir kanıt sağlayacaktır. Eğer bir zar üzerinde yaşadığımıza yönelik böylesi kanıtlar elde edebilirsek, matematik bize yaşadığımız zarın yegâne zar olduğunu ummak için hiçbir sebep vermemektedir.

Zaman, Döngüler ve Çoklu Evren

Ayrıntılarda farklılık gösterseler de şu ana kadar ele aldığımız çoklu evrenlerin ortak bir özelliği bulunmaktadır. İster Kapitone Çoklu Evren, ister Şişme Evreli Çoklu Evren, isterse de Zar Çoklu Evrenleri olsun, tüm bu evrenlerin hepsi uzayda "ötede bir yerlerde" bulunmaktadır. Kapitone Çoklu Evren modeli için "ötede bir yer" ifadesi, gündelik anlamda çok uzaklarda olarak yorumlanabilir. Şişme Evreli Çoklu Evren modelinde bu ifade kendi baloncuk evrenimizin ötesinde ve hızla genişleyen aradaki bölgenin öbür tarafında demektir. Zar Çoklu Evreni söz konusu olduğunda ise, bu ifade büyük olasılıkla çok yakınımızda olmakla birlikte, aradaki aralığın başka bir boyut içinde olduğu manasındadır. Zar evren senaryosunu destekleyen kanıtların olması durumunda ise sadece uzayla değil, zamanla da birbirlerinden ayrılmış yeni bir çoklu evren modelini göze almamız gerekecektir.[6]

Einstein'dan bu yana, zaman ve uzayın büküldüğünü, eğildiğini ve genişlediğini biliyoruz. Ancak tüm evrenin o yöne mi bu yöne mi doğru sürüklendiğini bilmiyoruz. Tüm uzayın, söz gelimi, 30 santimetre "sağa" ya da "sola" doğru hareket etmesi ne anlama gelir? Bu, şu an için tam anlamıyla bir muammadır ama zar evren senaryosunda yanıtını bulabilmek zor olmaz. Parçacıklar ve sicimler gibi, zarlar da kendilerini saran ortamda mutlaka hareket ediyorlardır. O halde, eğer gözlemlediğimiz ve deneyimlediğimiz evren üç-zarsa, pekâlâ yüksek boyutlu uzay alanının içinde süzülüp kayıyor olabiliriz.*

Eğer böyle bir kayan zarın içindeysek ve etrafımızda başka zarlar da varsa, bunlardan birine çarparsak ne olur? Her ne kadar daha bu konudaki ayrıntılar yeterince çözümlenmemişse de şundan emin olun ki iki zar evrenin çarpışması son derece şiddetli olacaktır. En basit durumda, iki paralel üç-zarın birbirlerine giderek daha fazla yaklaşıp en sonunda tıpkı iki büyük orkestra zili gibi birbirlerine vuracaklardır. İki üç-zarın bağıl hareketlerinde barınan büyük enerji nedeniyle ortaya çıkacak şiddetli bir parçacık ve ışınım saçılması sonucu iki zar evrenin düzenli yapısı da ortadan kalkacaktır.

İçlerinde Paul Steinhardt, Neil Turok, Burt Ovrut ve Justin Khoury gibi isimlerin de bulunduğu bir grup araştırmacıya göre, işte böyle bir çarpışma zamanında yalnızca bir sona değil, bir başlangıca da neden olmuştur. Olağanüstü sıcak ve yoğun bir ortamda etrafa saçılan parçacıklar büyük patlamanın hemen sonrasındaki durumu akla getirmektedir. Belki de iki zar çarpışınca, her birinde gökadalardan gezegenlere, gezegenlerden de içinde yaşayan insanlara kadar bulunan tüm varlıklar ve geçmişleri ortadan kalkar ve sonuçta yeni bir kozmik varoluşa zemin hazırlanmış olur. Bol miktarda parçacık plazması ve ışınımla dolu bir üç-zar, aynı üç boyutlu uzay gibi genişliyor olabilir. Böyle bir genişleme söz konusuysa, ortam soğur ve yıldızlarla gökadaların oluşumuna imkân verecek biçimde parçacık kümelenmeleri gerçekleşebilir. Bazıları, bu biçimde bir yeniden evren oluşum sürecini *büyük yapışma* (big splat) olarak adlandırmayı önermişlerdir.

"Yapışma" ise çağrışım potansiyeli olan bir terim olduğu halde, zar çarpışmalarında önemli bir noktayı gözden kaçırmaktadır. Steinhardt ve arkadaşlarına göre, zarlar çarpıştıkları zaman birbirlerine yapışmaz, tam tersine geri ayrılırlar. Birbirlerine uyguladıkları kütleçekimi kuvveti bağıl hareketlerini yavaşlatır ve sonunda maksimum bir aralığa eriştikten sonra tekrar birbirlerine yaklaşmaya başlarlar. Zar yapılar birbirlerine tekrar yaklaşırken hız kazanırlar, çarpışırlar ve yeni bir kozmolojik evrime götürecek süreçler yeniden başlar. Böyle bir kozmoloji modelinde, zaman içinde sürekli olarak tekrarlanan dünyalar *Döngüsel Çoklu Evren* denilen paralel evrenleri meydana getirirler.

Eğer Döngüsel Çoklu Evren modeline göre bir zar evrende yaşıyorsak, diğer bütün evrenler (belli zaman aralıklarıyla çarpıştığımız komşu zar evrene ilaveten) geçmişimizde ve geleceğimizde yer almaktadırlar. Steinhardt ve arkadaşlarının tahminlerine göre, komşu kozmik yapıların her bir çarpışma döngüsü – doğum, gelişme ve ölüm– yaklaşık bir trilyon yıl almaktadır. Bu senaryoya göre, içinde bulunduğumuz evren bir dizi döngüsel sürecin en son örneğidir. Belki de daha öncekilerde artık çoktan ortadan kalkmış bilinçli canlılar ve yarattıkları kültürler barınmıştır. Belki de zamanı gelince, bizim katkımız ve evrenimizin desteklediği diğer yaşam formlarının katkısı da aynı şekilde yok olup gidecektir.

Döngüsel Evrenlerin Geçmişi ve Geleceği

Zar evren yaklaşımı şu andaki durumuyla döngüsel kozmolojik anlayışın en gelişmiş örneği olsa bile, aslında döngüsel kozmolojilerin uzun bir geçmişi vardır. Dünyanın kendi etrafında gündüz ve geceyi meydana getiren dönüşü, güneş etrafındaki yörüngesinde dönerken tekrar eden bir sıra ile mevsimlerin ortaya çıkması, yüzyıllar boyunca kozmosu anlamak için geliştirilen döngüsel yaklaşımların habercisi olmuştur. Bilimsel kozmoloji dönemi öncesi en eski kozmolojik yaklaşımlardan biri olan Hindu geleneklerine göre milyonlarca hatta trilyonlarca yıl içinde gerçekleşen, iç içe girmiş belli kozmolojik döngüler bulunmak-

tadır. Sokrat öncesi dönemin filozofu Heraklitos'a ya da Romalı devlet adamı Çiçero'ya kadar uzanan batılı pek çok düşünür de döngüsel kozmoloji üzerine çeşitli kuramlar üretmiştir. Bir ateş topu olarak yok olup için için yanmaya devam eden kordan tekrar çıkan evren anlayışı kozmik başlangıç konusunda çok kabul görmüş senaryolardan biriydi. Hıristiyanlığın yayılmasıyla yaratılış kavramı giderek tek seferlik bir olay olarak ayrıcalıklı bir önem kazanmış, bu arada döngüsel kuramlara ilgi münferit bir şekilde de olsa devam etmiştir.

Modern bilimsel döneme gelindiğinde de genel göreliliğe başvuran ilk kozmolojik çalışmalardan bu yana döngüsel modellerin üzerinde hep durulmuştur. 1923'te Rusya'da basılan popüler bir kitapta Einstein'ın kütleçekimi denklemlerine bulduğu kozmolojik çözümleri anlatan Alexander Friedmann, genişleyen, maksimum büyüklüğüne erişen, sonra küçülüp büzüşerek bir "nokta" haline gelen ve belki de yeniden genişlemeye başlayan salınımlı bir evren modelinden söz etmektedir.[7] 1931'de, statik evren modelinden çoktan vazgeçmiş olan Einstein'ın kendisi de salınımlı bir evren olasılığı üzerinde durmuştur. Bu gibi çalışmaların arasında en ayrıntılı olanı, 1931 ve 1934 yılları arasında Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden Richard Tolman'ın yazdığı makalelerdir. Tolman döngüsel kozmoloji modelleri üzerine ayrıntılı matematik hesaplamalar yaparak bu yönde günümüze dek süren –çoğu kez fizikte pek göze batmayan kimi kez de yaygın bir şekilde öne çıkan– çalışmaların başını çekmiştir.

Döngüsel kozmolojinin cazip gelen yanı, evrenin nasıl başladığına ilişkin o çok karmaşık konulara girmemesidir. Eğer evrende birbirini izleyen döngüsel bir düzen varsa, bu döngüler de bu zamana kadar hep olmuşsa (belki de bundan sonra da hep sürecekse), o zaman evrenin nihai başlangıcı sorunu göz ardı edilebilir. Her döngünün kendi başlangıcı vardır, ancak kurama göre bu başlangıcın somut bir fiziksel nedeni bulunmaktadır: Bir önceki döngünün bitmesi. Eğer evrendeki tüm döngülerin başlangıcını soracak olursanız, verilecek en basit yanıt, böyle bir başlangıcın olmadığıdır, çünkü döngüler ezelden beri tekrarlanmaktadır.

O halde döngüsel modeller, bir bakıma, "hem pastam dursun hem karnım doysun" türü bir yaklaşım sergilemektedir. Bilimsel kozmolojinin ilk dönemlerinde *sabit durum* (durağan hal) kuramı, evrenin genişlemesine karşın bir başlangıcı olmadığını savunarak, kozmik başlangıç sorununa sorunun çevresinden dolanarak uzak duran bir yanıt vermiştir: Evren genişledikçe, sürekli yeni madde oluşmakta ve genişleme ile oluşan boşlukları doldurmaktadır, bu şekilde kozmosta sonsuza kadar sabit koşulların sürmesi sağlanmaktadır. Ne var ki sabit durum kuramının başı, evrenin çok daha önceki dönemleriyle şu an deneyimlediğimiz hali arasında çok büyük farklar bulunduğunu güçlü kanıtlarla ortaya koyan gökbilim gözlemleriyle derde girmiştir. Bu çalışmaların en etkili olanları evrenin ilk dönemlerinde görkemli, sabit bir yapının olmadığını, aksine son derece düzensiz ve yakıcı bir ortamın bulunduğunu kanıtlayan çalışmalardır. Büyük patlama kavramı zaten sabit bir evren anlayışını ortadan kaldırmış, evrenin başlangıcı konusunu tekrar gündeme taşımıştır. İşte bu noktada, döngüsel kozmoloji ilginç bir bakış açısı öne sürer. Her döngünün geçmişinde büyük patlama benzeri bir olay gerçekleşmiş *olabilir*, bu da gözlemlerle uyumlu bir varsayımdır. Birbiri ardınca sonsuz sayıda döngüyü dikkate alınca da kuram yine de evrenin nihai başlangıcına yönelik bir düşünce öne sürme zorunluluğundan uzak durmaktadır. Görünen o ki döngüsel kozmoloji sabit durum savı ile büyük patlama modellerinin en çekici yanlarını birleştirmektedir.

1950'li yıllara gelindiğinde, Hollandalı astrofizikçi Herman Zanstra döngüsel modellerin Tolman'ın yirmi yıl kadar önceki çözümlemesinde gözden kaçan sorunlu bir özelliğine dikkat çekmiştir. Zanstra'ya göre, kendi evrenimizden önce sonsuz sayıda başka döngülerin yaşanmış olması mümkün değildir. Bu savın dayanağı Termodinamiğin İkinci Yasası'dır. IX. Bölüm'de ayrıntılı olarak anlatacağımız bu yasaya göre düzensizlik –*entropi*– zaman içinde artar. Bu sürekli olarak deneyimlediğimiz bir olgudur. Sabah saatlerinde gayet tertipli olan mutfağınız akşama kadar darmadağınık bir hale gelir; aynı şey çamaşır çekmeceniz, masanız ya da çocukların oyun odası için de geçerlidir. Günlük yaşamımızdaki düzensiz-

lik artışı can sıkıcı bir süreç olduğu halde, döngüsel kozmolojideki benzer sürecin merkezi bir önemi vardır. Tolman'ın da fark etmiş olduğu gibi, genel göreliliğin denklemleri evrenin entropi içeriğini verilen bir döngünün süresi ile ilişkilendirmektedir. Daha çok düzensizlik, evren küçülürken bir araya toplaşan daha çok düzensiz parçacıklar demektir. Bunun sonucunda, çok daha güçlü bir geri tepmeyle uzay daha fazla genişler ve döngü çok daha uzun bir süreye yayılır. Günümüzden geriye doğru bakarsak, Termodinamiğin İkinci Yasası'na göre daha önceki döngülerde daha az entropinin bulunması gerekir (çünkü yasa entropinin geleceğe doğru arttığını ve geçmişe doğru azalması gerektiğini söyler).* Bu nedenle geçmişe doğru gittikçe döngü süreleri de çok daha kısa olmalıdır. Bunu matematiksel olarak hesaplayan Zanstra göstermiştir ki zamanda yeterince geriye gidilirse, döngüler o denli kısalacaktır ki bir yerde döngü durma noktasına gelecektir. İşte bu yüzden döngülerin de bir başlangıç noktası bulunması gerekecektir.

Steinhardt ve ekibi ise kendi yeni döngüsel kozmoloji modellerinin bu sorunu aştığını öne sürmüşlerdir. Onların yaklaşımına göre, döngüler genişleyip büzülen, sonra tekrar genişleyen bir evrenden dolayı değil, genişleyip büzülen ve tekrar genişleyen zar evrenlerin aralarındaki uzaklıktan dolayı meydana gelmektedir. Zarlar sürekli olarak genişler –bu genişleme her bir döngü boyunca gerçekleşir. Entropi, Termodinamiğin İkinci Yasası'nın belirttiği gibi, bir döngüden öbürüne artarak devam eder, ancak zarlar da genişlediği için entropi giderek daha geniş bir uzay alanına yayılır. Toplam entropi yükselir ama entropi *yoğunluğu* düşer. Her bir döngünün sonuna doğru entropi o denli seyrelir ki yoğunluğu neredeyse sıfıra yaklaşır. Bu da yeniden başlangıç anlamına gelir. Bu nedenle, Tolman ve Zanstra'nın söylediklerinin aksine, döngüler hem geleceğe hem de geçmişe doğru sınırsızca devam edebilirler. Zar evrenlerden oluşan Döngüsel Çoklu Evren modelinde zamanda bir başlangıca ihtiyaç yoktur.[8]

* Zamanın oku meselesi konusunda bilgisi olan okurlar için söylemem gerekirse, yapılan gözlemlere de dayanarak entropinin geçmişe doğru azaldığını kabul ediyorum. Ayrıntılı bir tartışma için bkz. *Evrenin Dokusu*, VI. Bölüm.

Bu şekilde, eskiden beri süregelen bir bilinmeze çözüm getirmiş olmak Döngüsel Çoklu Evren modelinin bir başarısıdır. Ancak bu modelin öncülerinin de belirttiği gibi, Döngüsel Çoklu Evren modeli yalnızca sözü edilen kozmolojik bilinmeze çözüm önermekle kalmamış, kendisini diğer bütün geniş kabul görmüş şişme evreli modellerden ayıran özel bir öngörüde de bulunmuştur. Şişme kozmolojisine göre evrenin başlangıcında meydana gelen şiddetli patlama misali genişlemeyle uzayın dokusu öylesine altüst olmuştur ki bunun sonucunda büyük kütleçekimi dalgaları meydana gelmiştir. Bu dalgacıklar kozmik mikrodalga fon ışımasında izler bırakmış olmalıdır. Şimdi, yüksek hassasiyete sahip gözlem araçlarıyla bu izler aranmaktadır. Bunun tersine, zarların çarpışması ise anlık bir kargaşa yaratır. Ancak uzayın muazzam şişmeye dayalı genişlemesi olmadan, meydana gelen herhangi bir kütleçekimi dalgası öylesine zayıf olacaktır ki günümüze dek kalacak bir iz bırakabilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, evrenin ilk dönemlerinde oluşmuş kütleçekimi dalgalarının izlerine rastlanması, Döngüsel Çoklu Evren modelinin geçerliliğini ortadan kaldıracak bir kanıt olarak düşünülmelidir. Diğer yandan, bu kütleçekimi dalgalarına hiç rastlanmaması ise pek çok şişme evreli modelin çökmesi anlamına gelir ki bu da döngüsel evren modelini daha da çekici hale getirir.

Döngüsel Çoklu Evren modeli fizik çevrelerinde geniş ölçüde bilinir fakat bu modele aynı şekilde geniş ölçüde kuşkuyla yaklaşılır. Ancak yapılacak gözlemler bu bakış açısını değiştirebilir. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı deneyinde zar evrenlere ilişkin kanıtlar çıkarsa ve ayrıca evrenin başlangıcındaki kütleçekimi dalgalarının izlerine de rastlanmazsa, Döngüsel Çoklu Evren modeli çok daha fazla destek kazanacaktır.

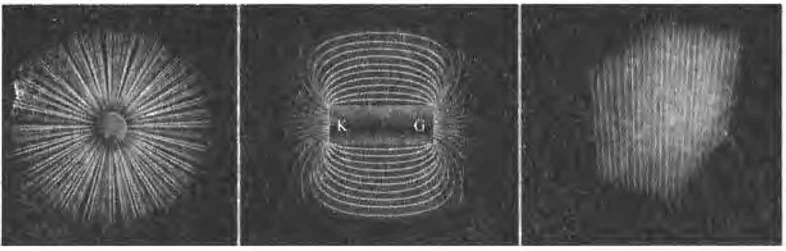
Akış Halinde

Sicim kuramının yalnızca sicimleri açıklayan bir kuram olmakla kalmayıp zarları da kapsıyor olmasının bu alandaki araştırmalar üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. Gerçeklikle ilgili bakış açımızı kökten değiştirecek potansiyele sahip zar evrenler senaryo-

su ve bu senaryodan çıkan çoklu evrenler anlayışı, sonuçta ortaya çıkan araştırma sahalarından birisidir. Son on beş yılda geliştirilen daha kesin matematiksel yöntemler olmasaydı, bu kavrayışlara ulaşmamız mümkün olmayacaktı. Ne var ki fizikçilerin çok daha kesin yöntemlerle çözüm bulunacağını umdukları asıl sorun – kuramsal analizlerin ortaya koyduğu ekstra boyut adaylarından birini seçebilmek– henüz çözüme kavuşmadı. Bu noktadan henüz çok uzaktayız. Yeni yöntemler bu sorunu aslında daha da karmaşık hale getirmiştir. Zira aday havuzunu çabucak dolduracak şekilde ekstra boyutların çok farklı olası şekillerinin kuramsal keşfine yol açmışlar, ancak bunlardan birini nasıl seçeceğimize dair kavrayışımızı bir nebze olsun artırmamışlardır.

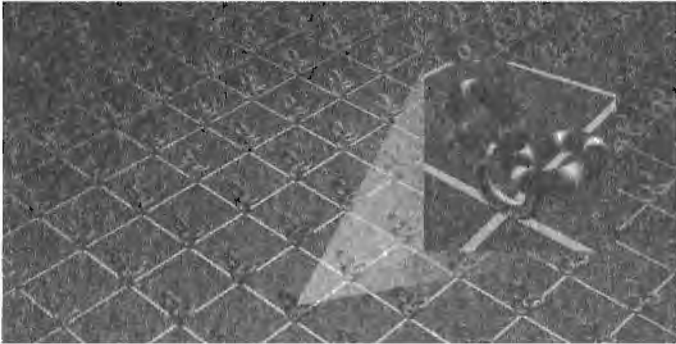
Kaydedilen gelişmeler içinde en önemlisi, zarların, *akı* (flux) adı verilen özelliğidir. Nasıl ki elektron çevresinde bir tür elektrik "pus" denilebilecek elektrik alanı yaratıyorsa ya da nasıl ki bir mıknatıs çevresinde manyetik "pus" olarak adlandırılabilecek bir manyetik alan oluşturuyorsa, Şekil 5.5'te görüldüğü gibi, bir zar da çevresinde adına zar "pus"u denilebilecek bir *zar alanı* oluşturmaktadır. Faraday 1800'lerin başında elektrik ve manyetik alanlar üzerine ilk deneylerini gerçekleştirirken kaynak noktasından verilen bir uzaklıktaki alan çizgilerinin yoğunluğunu saptayarak bu alanların şiddetini ölçmeyi düşünmüş, elde edilecek bu ölçümü de alanın *akı* değeri olarak adlandırmıştı. Sözcük o zamandan sonra bir fizik terimi olarak yerleşti. Bir zar alanının şiddeti de bu zarın yarattığı akı ile tarif edilmektedir.

İçlerinde Raphael Bousso, Polchinski, Steven Giddings, Shamit Kachru gibi isimlerin ve başkalarının da bulunduğu sicim kuramcıları, sicim kuramının öngördüğü ekstra boyutların tam bir tanımını yapabilmek için bu boyutların yalnızca biçimlerini ve büyüklüklerini bilmenin yeterli olmayacağını –ben de dahil olmak üzere bu alandaki çoğu araştırmacı 1980'ler boyunca ve 90'ların başlarında daha çok bu özelliklere yoğunlaşmıştık– *aynı zamanda* zar akılarının da belirlenmesi gerektiğini savunmuşlardır. Şimdi bu konuyu biraz açalım.



Şekil 5.5 Elektron tarafından üretilmiş elektrik akısı; çubuk mıknatıs tarafından üretilmiş manyetik akı; zar tarafından üretilmiş zar akısı.

Sicim kuramındaki ekstra boyutları araştıran ilk matematik çalışmalarından beri araştırmacılar Calabi-Yau şekillerinin içinde çok miktarda boş alan olduğunu biliyorlardı. Bu boşluklar tıpkı bir plaj topunun içindeki, bir halka çöreğin ortasındaki ya da camı üfleyerek yapılmış bir heykelin içindeki boşluğa benziyordu. Ancak araştırmacılar yeni yüzyılın başlarına kadar bu alanların mutlaka bomboş olması gerekmediğini düşünmemişlerdi. Bu alanlar, Şekil 5.6'da görüldüğü gibi, başka bir zarla sarmalanmış ya da içlerinden akı geçmiş olabilirlerdi. Daha önce yapılan araştırmalar (örneğin, *Evrenin Zarafeti*'nde özetlendiği gibi), söz edilen süslemelerin hiçbir biçimde dikkate alınmadığı, içleri bomboş "çıplak" Calabi-Yau şekilleri düşünmüşlerdi. Araştırmacılar Calabi-Yau şekillerinin bu ilave özelliklerle "süs-



Şekil 5.6 Sicim kuramında ekstra boyutların bazı kısımları zarlarla sarmalanabilir ya da içlerinden akı geçebilir, bu da "süslenmiş" Calabi-Yau şekillerini verir. (Yukarıdaki çizimde bir Calabi-Yau şeklinin basitleştirilmiş bir hali kullanılmıştır –üç boşluklu bir halka çörek. Bu örnekte, sarmalanmış zarlar ve akı çizgileri uzayın bazı kısımlarını çevreleyen parlak bantlarla gösterilmektedir.)

lenebileceklerini" fark edince ekstra boyutların o zamana kadar gündeme gelmeyen çok değişik biçimleri ortaya atıldı.

Kabaca bir sayma ölçekler hakkında fikir verebilir. Akıları düşünelim. Kuantum mekaniğinin belirttiği gibi, fotonlar ve elektronlar ayrık birimler halinde bulunurlar; 3 foton ve 7 elektrondan söz edebilirsiniz ama 1,2 foton ya da 6,4 elektrondan söz edemezsiniz. Bu nedenle kuantum mekaniği, akı çizgilerinin de ayrık yapıları olduğunu belirtir. Bu çizgiler çevrelerindeki bir yüzeye bir, iki, üç ya da daha fazla kere nüfuz edebilirler. Bu bağlamda sadece tam sayılarla ifade edilme kısıtlamasını bir yana bırakırsak, prensip olarak başka bir sınır söz konusu değildir. Gerçekte, akı miktarı fazla olduğunda, bu miktar çevresindeki Calabi-Yau şekillerinin yapısını bozma eğilimi gösterir. Bu durum daha önce güvenilir olan matematik yöntemlerin hatalı hale gelmesi demektir. Araştırmacılar, bu çalkantılı matematiksel sulara girmektense, akının miktarını daha çok 10 ya da daha az bir değer olarak almayı tercih etmektedirler.[9]

Bu da demektir ki eğer bir Calabi-Yau şeklinde bir boş alan bulunuyorsa, bu bölgeyi akı ile on farklı biçimde süsleyebileceğimizi, dolayısıyla, bunun da on farklı yeni ekstra boyut tipi anlamına geldiğini söyleyebiliriz. Bir Calabi-Yau şeklinde iki böyle bölge varsa, o zaman $10 \times 10 = 100$ farklı akı süslemesinden söz etmek mümkündür (birinci boşlukta bulunabilecek 10 farklı akının ikinci boşluktaki 10 farklı akıyla birleştiğini düşünün). Benzer biçimde, üç boş bölge için 10^3 farklı akı söz konusu olacaktır. Bu akı süslemelerinin sayısı ne kadar artabilir? Bazı Calabi-Yau şekillerinde beş yüzden fazla boş bölge bulunmaktadır. *Bu da ekstra boyutlar için* 10^{500} *farklı biçim anlamına gelir.*

Böylece, ekstra boyutların şekli için adayları birkaç belirli şekle indirmektense, daha ince matematiksel yöntemler çok daha fazla olasılığa yol açmışlardır. Birdenbire, Calabi-Yau uzaylarını gözlenebilen evrendeki parçacıklardan daha fazla sayıda giysiyle giydirmek mümkün olmuştur. Bazı sicim kuramcıları için bu olasılık epeyce gerginlik yaratmıştır. Bir önceki bölümde vurgulandığı gibi,ekstra boyutların tam şeklini seçecek yolumuz yoksa

–artık farkındayız ki bununla şeklin hangi akı "giysisini" tercih edeceğini de kastediyoruz– sicim kuramının matematiği öngörücü gücünü kaybetmektedir. Bu konuda pertürbatif yaklaşımların sınırlamalarının ötesine geçecek matematiksel yöntemler için çok umut beslenmiştir. Oysa bu yöntemlerin bir kısmı somut olarak ortaya konulunca, ekstra boyutların biçimi sorunu giderek daha da içinden çıkılmaz bir hal almıştır. Bazı sicim kuramcıları umutlarını tamamen yitirmiş gözükmektedirler.

Daha sebatkâr diğer kuramcılar ise umutları yitirmek için henüz çok erken olduğunu düşünmektedir. Bir gün –belki çok yakında, belki de gerçekten çok uzak bir gelecekte– ne tip akıları tercih ettikleri de dahil olmak üzere ekstra boyutların neye benzediklerini belirleyebilecek bir ilke bulunabilecektir.

Diğer bazı kuramcılarsa çok daha radikal bir düşünceyi dile getirmektedirler. Bu kuramcılara göre, yıllar boyu süren çabalara karşın şu ana kadar ekstra boyutların neye benzedikleri konusunda hâlâ bir şey öğrenememiş olmamız da bize bir şeyi gösteriyor olabilir. Belki de bu kuramcıların ısrarla söyledikleri gibi, sicim kuramının matematiğinden çıkabilecek *her türlü* şekli ya da akıyı ciddi biçimde ele almamız gerekir. Bu kuramcılara göre, matematiğin bütün bu şekil olasılıklarını işaret ediyor olması, *tüm bu şekillerin gerçek olduğu* anlamına da gelebilir. Belki de her bir şekil kendine ait bir evrenin ekstra boyutudur. Belki de gereksiz yere gözlemsel veri hayalleri kurmak yerine bu durum, en güç problemi yani kozmolojik sabiti ele almak için tam da ihtiyacımız olan şeydir.

VI. Bölüm

Eski Bir Sabite Yeni Bakış

Manzara Çoklu Evreni

0 ile 0,000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000001 arasındaki farkın önemli olmadığını düşünebilirsiniz. Aslında, bildiğimiz ölçüler içinde önemli de değildir. Ancak, bu çok küçük farkın gerçekliğin manzarasını nasıl algıladığımızı belirleyen ciddi bir rolü olduğuna yönelik düşünceler giderek artmaktadır.

Yukarıda belirtilen bu çok küçük rakam, uzak gökadalarda patlayan yıldızları titiz gözlemlerle izleyen iki gökbilim ekibi tarafından ilk kez 1998'de ölçülmüştür. O zamandan bu yana yürütülen başka çalışmalar da bu ekiplerin elde ettiği sonuçları destekler niteliktedir. Bu rakam nedir ve neden bu kadar önemlidir? Daha önce genel göreliliğin vergi formunda üçüncü satırdaki kayıt olarak belirttiğim şey, yani uzayın dokusuna işleyen görünmez karanlık enerjinin miktarını belirleyen Einstein'ın kozmolojik sabiti olduğuna dair kanıtlar giderek artmaktadır.

Elde edilen sonuç dikkatli biçimde incelendikçe, fizikçiler, yıllarca süren ve pek çok araştırmacıyı kozmolojik sabitin 0 olduğuna ikna eden önceki gözlemlerin ve çıkarılan sonuçların artık geçersiz olduğuna daha fazla inanıyorlar. Kuramcılar telaşla nerede yanlış yaptıklarını anlamaya çalıştılar. Ancak hepsi birden yanlış yapmamıştı. Yıllar önce, karşıt görüşü savunanlar günün birinde kozmolojik sabit için sıfırdan farklı bir değerin bulunabileceğini belirtmişti. Peki, bu düşüncenin altında yatan temel varsayım neydi? Birçok evrenden yalnızca bir tanesinin içinde yaşadığımız varsayımı. *Birçok* evren.

Kozmolojik Sabitin Geri Dönüşü

Hatırlarsanız, eğer varsa, kozmolojik sabitin uzayı gözle görünmeyen, her yerde aynı değeri alan bir enerjiyle –karanlık enerji– doldurduğundan ve çarpıcı özelliğinin sahip olduğu itici kütleçekimi kuvveti olduğundan söz etmiştik. Einstein bu görüşü 1917'de ortaya atmış, kozmolojik sabitin kütleçekimine zıt etkisinin evrendeki sıradan maddenin kütleçekiminden kaynaklanan çekimi dengelediğini, böylece ne genişleyen ne de büzülen bir kozmosun mümkün olabildiğini belirtmişti.*

Birçokları Einstein'ın Hubble'ın evrenin genişlediğine dair 1929 gözlemlerini öğrenince kozmolojik sabitini "en büyük yanılgısı" olarak tanımladığını aktarmıştır. George Gamow'a göre, kendisiyle yaptığı bir konuşmada Einstein böyle demiş, ancak bazıları bunun Gamow'un her zamanki şaka yollu abartılarından biri olabileceğini düşünüp anlatılanların geçerliğini sorgulamışlardır.[1] Kesin olan bir şey varsa o da Einstein'ın yapılan gözlemlerin kendisinin inandığı durağan bir evren modelini desteklemediğini anlayınca kozmolojik sabiti denklemlerinden çıkartmış olmasıdır. Nitekim Einstein yıllar sonra "Hubble'ın evrenin geniş-

* Kullandığım dille ilgili bir açıklama: Çoğu yerde "kozmolojik sabit" ve "kara enerji" terimlerini birbirleri yerine kullanmaktayım. Biraz daha kesin konuşmam gerekince, kozmolojik sabitin değerini uzayı kaplayan kara enerjinin miktarını belirtmek için kullanıyorum. Daha önce belirtildiği gibi, fizikçiler "kara enerji" terimini daha özgür bir şekilde, oldukça uzun zaman ölçeklerinde kozmolojik sabite benzeyen, onu taklit eden herhangi bir şeyi kastetmek için kullanırlar. Fakat bu şey gerçekte çok yavaş değişiyor olabilir, yani gerçek anlamda bir sabit olmayabilir.

lemesine ilişkin bulguları görelilik kuramının ortaya atıldığı zaman bilinseydi, kozmolojik sabit hiçbir zaman ortaya atılmamış olurdu" diyecektir.[2] Ancak, geriye bakarak yapılan değerlendirmeler her zaman isabetli değildir; bazen başlangıçtaki belirginliği bulanıklaştırılabilirler. 1917'de fizikçi Willem de Sitter'e yazdığı bir mektupta Einstein düşüncelerini şöyle belirtmiştir:

> Bununla birlikte açık olan bir şey var. Genel görelilik kuramı, kozmolojik sabitin alan denklemlerinin içinde yer almasına izin veriyor. Bir gün sabit yıldızlarla dolu gökyüzünün yapısı, bu sabit yıldızların görünür hareketleri, uzaklığa bağlı olarak spektral çizgilerin konumu gibi konulardaki bilgilerimiz, belki de kozmolojik sabitin ortadan kaybolup kaybolmayacağına deneysel olarak karar verebileceğimiz bir noktaya erişebilir. İnanç iyi bir güdüdür, ama kötü bir yargıçtır.[3]

Bu tarihten yaklaşık seksen yıl sonra, Saul Perlmutter'in yönettiği Supernova Kozmoloji Projesi'nde ve Brian Schmidt'in yönettiği High-Z Supernova Araştırma Ekibi'nin çalışmalarında bu yaklaşım benimsenmiştir. Bu araştırmacılar bol miktarda *spektral çizgi* –uzaklardaki yıldızların yaydığı ışık– üzerinde ayrıntılı biçimde çalışmış ve tam da Einstein'ın tahmin ettiği şekilde kozmolojik sabitin ortadan kaybolup kaybolmayacağı sorusunu deneysel olarak ele alabilmişlerdir.

Pek çok kişiyi şaşırtacak bir şekilde, kozmolojik sabitin yok olmadığını güçlü kanıtlarla ortaya koymuşlardır.

Kozmosun Kaderi

Sözü edilen gökbilimciler çalışmalarına başladıklarında hiçbirinin temel amacı kozmolojik sabiti ölçmek değildi. Bu ekipler başka bir kozmolojik özelliği, uzayın genişlemesindeki yavaşlamanın oranını ölçmek istiyorlardı. Bildiğimiz kütleçekimi her nesneyi diğer nesnelere yaklaştıran bir çekim oluşturacak şekilde etki etmekte, böylece uzayın genişleme hızının azalmasına neden olmaktadır. Bu yavaşlamanın oranının kesin değeri uzak bir

gelecekte evrenin nasıl olacağını öngörmek için temel teşkil edecektir. Büyük bir yavaşlama, uzayın genişlemesinin sıfıra inebileceği ve sonra hareketini aksi yöne çevirerek uzaysal büzülme sürecinin ortaya çıkacağı anlamına gelebilir. Sürecin böyle devam etmesi –büyük patlamanın tersine– bir *büyük* çöküş ya da bir önceki bölümde söz edilen döngüsel modellerde olduğu gibi, belki bir sıçrama ile sonuçlanabilir. Küçük bir yavaşlamayla çok farklı sonuçlar ortaya çıkabilir. Aynen yüksek hızdaki bir topun dünyanın kütleçekiminden kurtulup daha da uzaklara yönelebileceği gibi, uzaysal genişleme hızı yeterince yüksekse ve yavaşlama oranı yeterince zayıfsa, uzay sonsuza kadar genişlemeye devam edebilecektir. Sözü edilen ekipler bu nedenle kozmik yavaşlamayı ölçerek kozmosun kaderini anlamaya çalıştılar.

Her iki ekibin de yaklaşımı son derece basitti: Geçmişte değişik anlarda uzayın hangi hızla genişlediğini ölçmek ve bu sonuçları karşılaştırarak kozmik tarih boyunca genişleme hızında gerçekleşmiş yavaşlama oranını saptamak. Peki, ama bunu nasıl yapabilirsiniz? Gökbilimdeki pek çok soruya olduğu gibi, buna da ışığın hassas ölçümleri yanıt olmaktadır. Gökadalar, hareketleri sayesinde uzayın genişlemesiyle ilgili fikir edinebileceğimiz parlak fenerlerdir. Eğer bize belli uzaklıktaki gökadaların, şu anda gördüğümüz ışıklarını, aslında çok önceden saçtıkları anda bizden ne kadar hızla uzaklaştıklarını belirleyebilirsek, uzayın geçmişteki değişik anlarda ne kadar hızlı genişlediğini de belirleyebiliriz. Bu hızları karşılaştırarak, kozmik yavaşlamanın oranı anlaşılabilir. Temel düşünce budur.

Ayrıntıları tamamlamak için iki önemli soruya değinmemiz gerekiyor. Günümüzdeki çok uzak gökadalara ait gözlemlerden, gökadaların bize olan uzaklıkları nasıl belirlenebilmekte ve hızları nasıl saptanmaktadır? Önce uzaklıkla başlayalım.

Uzaklık ve Parlaklık

Gökbilimin en eski ve en önemli sorunlarından biri, gök cisimlerinin bize olan uzaklıklarını belirleyebilmek olmuştur. Bu amaçla kullanılan ilk tekniklerden biri olan *paralaks,* aslında beş

yaşındaki çocukların sürekli deneyimlediği bir yaklaşıma dayanır. Çocuklar bir nesneye bakarken önce bir gözlerini sonra öbür gözlerini kapattıklarında nesnenin bir taraftan öbür tarafa zıpladığını düşünüp eğlenirler. Bir süredir çocukluk günlerinize dönmediyseniz, elinizdeki kitabı kaldırıp bir köşesine odaklanarak bunu bir deneyin. Zıplama algısının nedeni, aralarında mesafe olan sağ ve sol gözünüzün aynı noktaya farklı açılardan bakıyor olmalarıdır. Daha uzaktaki nesnelere bakarken algılanan zıplama nispeten azalır çünkü açı farkı küçülür. Bu basit gözlem, iki gözünüzün görüş çizgileri arasındaki açı farkıyla –paralaksın– bakılan nesneye olan uzaklık arasındaki bağıntı hesaplanarak niceliksel olarak tanımlanabilir. Ama bu ayrıntıları çözümlemeye uğraşmayın; görme sisteminiz bunu otomatik olarak yapıyor zaten. Dünyayı üç boyutlu algılamanızın nedeni budur.*

Geceleri gökyüzündeki yıldızlara baktığınız zaman, paralaks değeri güvenilir bir ölçüm sağlayamayacak kadar küçüktür; gözleriniz birbirine çok yakın olduğu için kayda değer bir açı farklılığı yaratmaz. Ancak bu ölçümü sağlamanın kolay bir yolu var: Altı ay aralıkla aynı yıldızın gökyüzündeki yerini belirleyin. Böylece her bir gözünüzün iki ayrı konumu yerine dünyanın iki ayrı konumunu kullanmış olursunuz. Gözlem konumlarında ne kadar büyük bir uzaklık olursa, paralaks da o kadar artacaktır; bu fark yine de küçüktür ama bazı durumlarda ölçüm yapmaya yetecek nitelikte olabilir. 1800'lü yıllarda bir grup bilim insanı arasında yıldızlarla ilgili paralaksları ilk önce kimin ölçeceğine yönelik bir rekabet vardı. 1838'de Alman gökbilimci ve matematikçi Friedrich Bessel, Kuğu (Cygnus) takımyıldızı içinde yer alan ve 61 Cygni olarak adlandırılan bir yıldızın paralaksını ölçerek kendi adına önemli bir başarıya imza attı. Ölçümde açısal farklılık 0,000084 olarak belirlenmiş, bu da yıldızın 10 ışık yılı uzakta olduğunu göstermişti.

O zamandan bu yana teknik sürekli olarak ilerlemiş ve Bessel'in ölçtüğünden çok daha küçük değerlerdeki paralaks

* Üç boyutlu film teknolojisi de buna dayanıyor: Film yapılırken kopyalanmış görüntüler arasındaki mesafe dikkatlice ayarlanıyor ve beyninizin ortaya çıkan paralaksları farklı mesafeler olarak algılaması sağlanıyor, böylece üç boyutlu bir ortam algısı yaratılıyor.

açıları uydularla ölçülür olmuştur. Bu ilerlemeler sayesinde birkaç bin ışık yılı ötedeki yıldızların uzaklık ölçümleri de kesin bir biçimde yapılabilmektedir, ancak bunun ötesinde, açısal farklılıklar yine küçük olmakta, bu nedenle de bu yöntem çok verimli sayılamamaktadır.

Çok daha ötelerdeki yıldızların uzaklığını ölçmek için kullanılan bir başka yöntem ise oldukça basit bir fikre dayanmaktadır: ışık saçan bir nesne –ister bir araba farı ister ışıldayan bir yıldız– sizden ne kadar uzakta olursa saçılan ışık size ulaşıncaya dek o kadar çok yayılır ve dolayısıyla parlaklığı da o kadar azalır. Bir nesnenin *görünürdeki* parlaklığıyla (dünyadan izlendiğinde görünen parlaklık), *gerçek* (mutlak) parlaklığı (hemen yakınından izlenseydi görünebilecek parlaklık) kıyaslanarak nesnenin dünyaya uzaklığı hesaplanabilir.

Buradaki sorun –ki önemli bir sorun– astrofizik nesnelerin gerçek parlaklıklarını belirlemekte yatmaktadır. Bir yıldızın ışığı zayıf gözüküyorsa bu onun uzaklığından mı yoksa fazla ışık vermemesinden mi kaynaklanmaktadır? Bu nedenle, yanı başında durup ölçüm yapmak gereği duymadan, gerçek parlaklığı güvenilir biçimde saptanabilen gök cisimlerini belirleyebilmek için uzun süreli çabalar sarf edilmiştir. Böylesi *standart mumlar* bulunursa, uzaklıkları belirlemede bir kıstas sağlanabileceği düşünülmüştü. Standart mum olarak alınacak bir kaynağın parlaklığının bir diğerine göre daha az ya da daha çok olmasıyla, o yıldız uzaklığının da belirlenmesi mümkün olacaktı.

Yüz yılı aşkın bir süre boyunca, bu tür standart mumlar önerilmiş ve değişik başarılar gösteren biçimlerde kullanılmıştır. Son zamanlarda ise en verimli yöntem olarak Tip Ia süpernova adı verilen bir tür yıldız patlamasından yararlanılmaktadır. Tip Ia süpernova, bir beyaz cüce yıldızın eş yıldızının –genellikle yörüngesinde döndüğü yakınındaki kırmızı dev aşamasındaki yıldızın– yüzeyinden madde çekmesiyle meydana gelir. Yıldız yapılarıyla ilgilenen gelişmiş fiziğin belirttiğine göre, eğer beyaz cüce yeterince madde çekerse (toplam kütlesi güneşinkinin yaklaşık 1,4 katına çıkarsa), kendi ağırlığını artık kaldıramaz hale gelir. Bu

durumda, iyice şişmiş olan beyaz cüce yıldız müthiş bir patlamayla çökerken gökadadaki yaklaşık 100 milyar başka yıldızın saçtığı ışığın toplamından daha güçlü olacak şekilde ışık saçar.

Bu süpernovalar ideal standart mumlardır. Patlamanın çok güçlü olması nedeniyle, o anda saçılan ışığı fevkalade uzak mesafelerden de izleyebiliriz. Bu patlamalar aynı fiziksel süreç –beyaz cüce yıldızın kütlesinin güneşinkinin yaklaşık 1,4 katı artması ve yıldızın çöküşüne yol açması– nedeniyle meydana geldiği için her bir süpernova en üst düzeydeki gerçek parlaklığa çok benzer bir parlaklık saçar. Tip Ia süpernovaları belirtilen amaç için kullanmanın en büyük sıkıntısı, bu tür süreçlerin tipik bir gökadada birkaç yüzyılda ancak bir kez meydana gelmesidir: Nasıl olur da bu süreci yakalayabilirsiniz? Süpernova Kozmoloji projesi ekibi de High-Z Süpernova Araştırma ekibi de bu sorunu epidemiyolojik çalışmaları anımsatan bir tarzda çözme yoluna gitmişlerdir: Geniş öbekleri incelerseniz, çok nadir durumlar hakkında bile hatasız bilgiler sağlayabilirsiniz. Benzer biçimde, araştırmacılar aynı anda binlerce gökadayı inceleyebilen geniş görüş alanlı detektörlerle donatılmış teleskoplar kullanarak düzinelerce Tip Ia süpernovaların yerlerini saptayıp daha sonra bunları daha sıradan teleskoplarla inceleyebildiler. Araştırmacılar, her bir süpernovanın ne kadar parlak olduğuna dayanarak milyarlarca ışık yılı ötede yer alan düzinelerce gökadanın dünyaya uzaklığını hesaplayıp hedeflerine ulaşmaya yönelik ilk adımı başarmış oldular.

Peki Bu Neyin Uzaklığı?

Uzaklardaki bu süpernovaların her birinin meydana geldiği sırada evrenin ne hızda genişlediğini belirlemeye ilişkin bir sonraki adıma geçmeden, karışıklığa neden olabilecek bir noktayı aydınlatmakta yarar görüyorum. Bu denli büyük ölçekli uzaklıklardan ve sürekli olarak genişleyen bir evrenden söz ederken, ister istemez gökbilimcilerin hangi uzaklıkları ölçtükleri sorusu akla gelecektir. Bu uzaklık, çok zaman önce yaydığı ışığı ancak şimdi görebildiğimiz belli bir gökada ile dünyanın o zamanki konumları arasındaki uzaklık mıdır? Yoksa şu an dünya üzerinde

bulunduğumuz nokta ile gökadanın uzun zaman önceki konumu arasındaki uzaklık mıdır? Ya da bizim şu anki konumumuzla bu gökadanın şu anki konumu arasındaki uzaklık mıdır?

Bunlarla ilgili olarak akla en yatkın gördüğüm düşünme biçimlerini ve aynı ölçüde kafa karıştırıcı olabilecek bir dizi kozmolojik soruyu aşağıda ele alıyorum.

Diyelim ki New York, Los Angeles ve Austin şehirleri arasındaki kuşbakışı mesafeyi öğrenmek istiyorsunuz ve Amerika Birleşik Devletleri haritası üzerinde bu şehirler arasındaki uzaklığı ölçüyorsunuz: New York'la Los Angeles arası harita üzerinde 39 santimetre, Los Angeles'la Austin arası 19 santimetre, Austin'le New York arası ise 24 santimetre. Daha sonra bu uzunlukları haritanın ölçeğine (1 santimetre = 100 kilometre) bakarak gerçek dünyadaki uzaklıklar türünden hesaplıyorsunuz. Bundan da anlıyorsunuz ki bu üç şehir arasındaki uzaklık sırasıyla 3900 kilometre, 1900 kilometre ve 2400 kilometre.

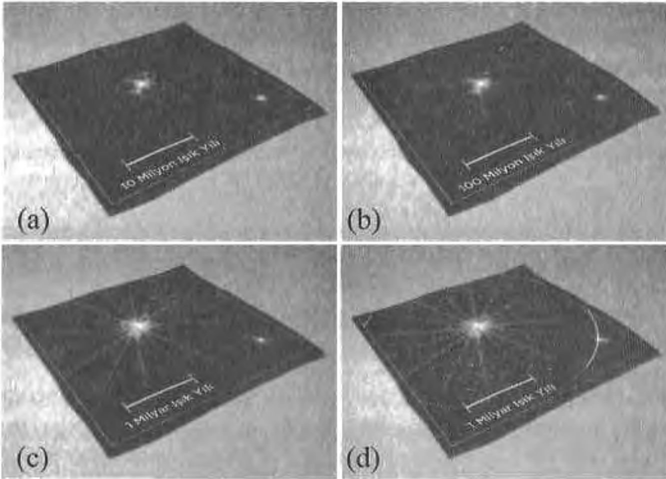
Şimdi düşünün ki dünyanın yüzeyi her tarafından eşit biçimde şişiyor ve tüm mesafeler iki katına çıkıyor. Bu ciddi bir değişikliktir, fakat o zaman bile elinizdeki Amerika Birleşik Devletleri haritası aynı kalmaya devam edecektir. Üzerinde şöyle önemli bir değişiklik yaptığınız sürece: Ölçeği bir çevrim çarpanı uygulayarak "1 santimetre = 200 kilometre" şeklinde değiştirmelisiniz. Bu durumda, haritada ölçülen uzunluklar olan 39, 19 ve 24 santimetre, genişleyen yeryüzü üzerinde sırasıyla 7800, 3800 ve 4800 kilometreye karşılık gelecektir. Yeryüzündeki bu genişleme devam ettiği sürece durağan, değişmeyen haritanızı, ölçeğini değişen her dakika için uygun biçimde sürekli güncelleyerek –öğle saatinde 1 santimetre = 200 kilometre; saat ikide 1 santimetre = 300 kilometre; saat dörtte 1 santimetre = 400 kilometre gibi– kullanmaya devam edebilirsiniz.

Bu genişleyen yeryüzü örneği ile genişleyen bir kozmos arasında benzer durumlar düşünülebilir. Gökadalar kendi güçleriyle hareket etmezler. Aynen genişleyen yeryüzündeki şehirler gibi birbirlerinden uzaklaşırlar çünkü içinde bulundukları katman –yani uzayın kendisi– genişlemektedir. Eğer milyarlarca yıl ön-

ce kozmik bir haritacı gökadadaki noktaları bir gökada haritası üzerinde belirtmiş olsaydı, bu harita bugün de geçerliğini koruyacaktı.[4] Ancak, aynen genişleyen bir yeryüzü haritasında olduğu gibi, kozmik harita ölçeğinin gerçek uzaklıkları ortaya koyacak biçimde güncellenmesi kaydıyla. Kozmolojik çevrim çarpanı evrenin ölçek çarpanı olarak adlandırılır. Genişleyen bir evrende ölçek çarpanı zaman içinde büyür.

Genişleyen bir evreni her düşündüğünüzde zihninizde değişmeyen bir kozmik harita canlandırmanızı öneririm. Bu haritayı masanın üzerine yayılmış sıradan bir harita gibi düşünün ve haritanın ölçeğini evrenin genişlediği her an için güncelliyor olun. Biraz gayret ederseniz, bu yaklaşımın kavramsal bazı zorlukları basitleştirdiğini göreceksiniz.

Tipik bir örnek olarak, uzaklardaki Noa Gökadası'nda meydana gelen bir süpernova patlamasının ışığını düşünün. Bu süpernovanın görünürdeki parlaklığı ile gerçek parlaklığını kıyas-



Şekil 6.1 **(a)** Uzak bir süpernovadan çıkan ışık bize doğru gelirken dağılır (içinde bulunduğumuz gökada haritanın sağ tarafında gösterilmektedir). **(b)** Harita üzerindeki göstergeden de anlaşılacağı gibi, ışığın yolculuğu sırasında evren genişler. **(c)** Işık bize ulaştığında, dağılmış olması nedeniyle şiddeti seyrelmiştir. **(d)** Süpernovanın görünürdeki parlaklığı ile gerçek parlaklığını karşılaştırdığımızda, ışığın yayıldığı kürenin alanını (daire ile gösterilmektedir), aynı zamanda da bu alanın yarıçapını ölçeriz. Dairenin yarıçapı ışığın aldığı yolu belirtir. Bu yarıçapın uzunluğu, gözlemlere göre, bizimle süpernovanın bulunduğu gökada arasındaki şu anki mesafedir.

ladığımızda, ilk saçılması (Şekil 6.1a) ve dünyadan görülmesi (Şekil 6.1.c) arasında ışık yoğunluğundaki azalmayı ölçmüş oluruz. Bu azalma, ışığın yolculuğu boyunca çok geniş bir küreye (Şekil 6.1d'de bir daireyle gösterilmektedir.) yayılmasından ileri gelmektedir. Bu azalma miktarını belirlediğimizde, kürenin –yani yüzey alanının– genişliğini de belirleriz. Daha sonra, lise geometrisini kullanarak bu kürenin yarıçapını saptarız. Bu yarıçapın uzunluğu ışığın aldığı bütün yolun uzunluğunu gösterecektir. Şimdi bu bölümün başındaki soru sorulabilir: Bu ölçüm, sözü edilen üç farklı uzaklıktan –birine tekabül ediyorsa– hangisine tekabül ediyor?

Işığın yolculuğu boyunca uzay sürekli olarak genişlemiştir. Durağan kozmik bir harita için yapılması gereken tek şey, ölçek çarpanının düzenli olarak güncellenmesidir. Süpernovanın ışığını ancak şimdi görebildiğimizden ve bu ışık bize ulaşırken yaptığı yolculuğunu ancak şimdi tamamlamış olduğundan, kozmik harita üzerindeki noktaların birbirlerinden uzaklığını –Şekil 6.1d'de gösterildiği gibi süpernovadan bize uzanan yol– ışığın katettiği fiziksel uzaklığa çevirmek için şu andaki ölçek çarpanını kullanmamız gerekir. Yöntem açıkça göstermiştir ki bizim çoktan seçmeli sorumuzda doğru yanıt üçüncü şıktır; yani Noa Gökadası ile aramızdaki şu andaki uzaklık.

Şunu da unutmamak gerekir ki evren sürekli olarak genişlediği için fotonun yolculuğuna başladığı andan itibaren geçtiği kısımlar foton geçip gittikten sonra bile gerilmeye devam edecektir. Eğer uzayda fotonun izlediği bu yolun bir çizgi biçiminde fotoğrafı çekilebilseydi, uzay genişledikçe bu çizginin de uzadığı görülürdü. Uzay haritasının ışığın bize ulaştığı andaki ölçek çarpanını ışığın bütün yolculuğu için kullanırsak, sorumuzun üçüncü şıkkı bu şekildeki tüm genişlemeleri dikkate alan bir yanıt olur çünkü ışık şiddetindeki azalmanın miktarı ışığın şimdi üstünde yayıldığı kürenin büyüklüğüne bağlıdır –bu kürenin yarıçapı, sonradan meydana gelen diğer bütün gerilmeler de dahil olmak üzere, ışığın bize ulaştığı şu ana kadar aldığı yolu gösterir.[5]

Demek ki bir süpernovanın görünürdeki parlaklığı ile gerçek parlaklığını karşılaştırdığımızda, bizimle o süpernovanın bulunduğu gökada arasındaki şimdiki uzaklığı belirliyoruz. Daha önce sözünü ettiğimiz iki gökbilimci ekibi işte bu uzaklıkları ölçmüştü.[6]

Kozmolojinin Renkleri

Parlak Tip Ia süpernovaların olduğu uzak gökadaların bize olan uzaklıklarının nasıl ölçüldüğünü yeterince açıkladık. Peki, milyarlarca yıl öncesinde böyle her bir kozmik ışıldak birbiri ardına ateşlenip dururken, evrenin o dönemlerdeki genişleme hızı hakkında nasıl bilgi edineceğiz? Bunun gerektirdiği fizik, neon tabelaların içinde olup bitenden daha karmaşık değildir.

Bir neon tabelası kırmızı renkte ışıldar, çünkü neon gazı içeren bir tüpten akım geçerken neon atomlarının yörüngesinde bulunan elektronlar bir anda yüksek enerji seviyelerine çıkarlar. Sonra, neon atomları durgunlaştıkça, uyarılmış elektronlar da normal hareket durumlarına geri dönerler ve bu esnada fazladan enerjilerini foton saçarak dışarı salarlar. Fotonların rengi –dalga boyları– taşıdıkları enerjinin miktarına göre belirir. Yirminci yüzyıl başlarında, tamamen kuantum mekaniğine dayanarak yapılan önemli bir keşifte, belli bir elemente ait atomlarda o elemente özgü birtakım olası elektron enerji sıçramaları bulunduğu anlaşılmıştır. Bu da salıverilen fotonların kendilerine özgü renklerde olduğu anlamına gelir. Neon atomları söz konusu olduğunda baskın renk kırmızıdır (ya da aslında parlak turuncu). Bu renk, neon ışığı olarak adlandırılan ışığın rengidir. Diğer elementler de –helyum, oksijen, klor vb.– benzer özellikler gösterirler. Tek fark her birinin saldığı fotonların dalga uzunluğudur. Kırmızı renk dışındaki diğer "neon" ışıklarının oluşması çoğunlukla tüpte cıva (maviyse) ya da helyum (altın rengiyse) bulunmasıyla ilgilidir. Bir başka yol da cam tüpü atomları daha da farklı dalga boylarında ışık yayan farklı maddelerle, genellikle de fosforla kaplamaktır.

Gözlemsel gökbilim de büyük ölçüde bu incelemelere dayanır. Gökbilimciler uzaklardaki nesnelerin ışıklarını teleskoplar-

la toplayıp saptadıkları renklerden –ölçtükleri ışığın belli dalga boyundan– ışık kaynağının kimyasal bileşimini belirleyebilirler. Bu yöndeki ilk çalışmalardan biri 1868'deki güneş tutulması sırasında yapılmıştır. Birbirlerinden bağımsız bir şekilde Fransız gökbilimci Pierre Janssen ve İngiliz gökbilimci Joseph Norman Lockyer, güneş tutulması sırasında ayın kenarından süzülen ve güneşin en dış katmanından ulaşan ışığı inceleyerek laboratuvar koşullarında hiç kimsenin yaratamayacağı bir dalga boyunda parlak bir ışık salımı saptadılar. Bundan da bu ışığın daha önce bilinmeyen yeni bir element tarafından salındığı bilgisi ortaya çıktı. Bu bilinmeyen element helyumdu. Helyum, Dünya'da bulunduğu keşfedilmeden Güneş'te bulunduğu keşfedilen yegâne elementtir. Bu çalışmanın ortaya koyduğu önemli bilgi şuydu: Tıpkı parmak izinizin sizi başka insanlardan ayırt edici özelliğe sahip olması gibi, belli bir atom türü de yaydığı (ya da soğurduğu) ışığın dalga boyu ile ayırt edilebilir.

Takip eden yıllarda çok daha uzaklardaki astrofiziksel kaynaklardan toplanan ışıkların dalga boylarını inceleyen gökbilimciler değişik bir özelliğin de farkına vardılar. Elde edilen bu dalga boyları, laboratuvar deneylerinden de bilinen hidrojen ve helyum gibi atomların dalga boylarına benzedikleri halde hepsi de onlardan biraz daha uzundu. Söz gelimi, uzaktaki belli bir kaynaktan gelen ışığın dalga boyu yüzde 3 daha uzunken, başka bir kaynaktan geleninki yüzde 12; bir başkasından geleninki yüzde 21 oranında daha uzun olabiliyordu. Gökbilimciler, elektromanyetik tayfın görülebilen kısmındaki ışığın dalga boyu uzadıkça rengi daha kırmızıya kayacağı için bu etkiyi *kızıla kayma* etkisi olarak adlandırdılar.

Adlandırmak iyi bir başlangıç, fakat dalga boylarının artmasının nedeni nedir? Vesto Slipher ve Edwin Hubble'ın gözlemlerinden elde edilen sonuçlara göre bunun yanıtı evrenin genişlemesidir. Bu noktada, yukarıda sözünü ettiğimiz durağan uzay haritası bu konuya sezgiye dayalı bir açıklama getirmek için biçilmiş kaftandır.

Şimdi gözünüzde Noa Gökadası'ndan dünyaya doğru dalgalanarak gelmekte olan bir ışık canlandırın. Şu bizim durağan

uzay haritamızda ışığın ilerlemesini izlersek, ışık dalgasının kıvrımları teleskobumuza ulaştıkça, birbiri ardına gelen ve hepsi aynı değeri alan dalga tepeciklerinin oluştuğunu görürüz. Tüm dalgaların aynı değeri alması size ışığın ilk saçıldığı andaki dalga boyu (iki ardışık tepecik arasındaki uzaklık) ile bu ışığın dünyaya ulaştığı andaki dalga boyunun hep aynı kaldığını düşündürtebilir. Ancak, söz konusu haritamızın mesafe ölçeği kullanılarak gerçek mesafe güncellendiğinde işin ilginç yanı ortaya çıkmaktadır. Evren genişlediği için ışık Dünya'ya ulaştığında haritanın çevrim çarpanı ışığın kaynağından çıktığı andakinden daha büyük olacaktır. Bu da demektir ki ışığın dalga boyu harita üzerinde değişmese de gerçek mesafelere dönüştürüldüğünde *artmaktadır.* Biz en sonunda ışığı gördüğümüzde bu ışığın dalga boyu ilk salındığı andakinden daha uzundur. Işık dalgaları sanki elastik bir kumaşa teyellenmiş iplikler gibidir. Elastik kumaş esnetildiğinde teyeller nasıl gerilirse, uzay kumaşı genişlediğinde de ışık dalgalarının boyu uzayacaktır.

Bunu nicelik olarak da ifade edebiliriz. Eğer dalga boyu yüzde 3 oranında artmış gözüküyorsa, o halde evren de ışığın ilk salındığı andan o ana kadar yüzde 3 oranında genişlemiştir. Eğer ışık dalgasının yüzde 21 oranında uzamış olması söz konusuysa, evrenin de ışığın yolculuğuna başladığı andan bu yana yüzde 21 oranında genişlediği anlaşılır. Böylece, kızıla kayma ölçümleri bize evrenin, şu anda incelediğimiz ışığın salındığı andaki büyüklüğünün bugünkü büyüklüğüne kıyasla ne olduğuna dair bilgiler sağlamaktadır.*

Bu bağlamda, bir dizi kızıla kayma ölçümlerine dayanarak evrenin zaman dilimleri içindeki genişleme profili çıkartılabilir.

* Eğer uzay sonsuz ölçüde büyükse, evrenin geçmişe kıyasla şimdi daha geniş olduğunu söylemenin ne anlama geldiğini merak edebilirsiniz. Burada yanıt şu ki "daha geniş" ifadesi, gökadalar arasında bulunan bugünkü mesafeyle aynı gökadalar arasında bulunan geçmişteki mesafeleri anlatmaktadır. Evrenin genişlemesi, gökadaların birbirlerinden artık daha uzaklaşmış oldukları ve matematiksel olarak evrenin ölçek çarpanının daha büyüdüğü anlamına gelmektedir. Sonsuz bir evren için "daha büyük" ifadesi bütün uzayın boyutunu ifade etmez, zira sonsuz olan bir şey hep sonsuzdur. Ancak dilsel kullanım kolaylığı açısından, sonsuz bir uzay söz konusu olsa bile, gökadalar arasındaki değişen mesafeleri kastettiğim için ben evrenin değişen boyutları ifadesini kullanmaya devam edeceğim.

Daha önceden çocuğunuzun boyunu kurşun kalemle duvara işaretlediyseniz, o anda boyunun ne kadar olduğunu görür, daha sonradan aynı amaçla yaptığınız işaretlemelerle aradan geçen sürelerde her farklı anda boyunun ne kadar uzamış olduğunu kaydedersiniz. Yaptığınız işaretlemeler yeterince çoksa, çocuğunuzun zaman içinde nasıl bir hızla büyüdüğünü belirleyebilirsiniz. Söz gelimi, dokuz yaşında ani bir boy atma, on bir yaşına kadar daha yavaş bir uzama, on üç yaşında tekrar hızlı bir boy atma gibi. Gökbilimciler Tip Ia süpernovanın kızıla kaymasını ölçtüklerinde uzayda bir bakıma kurşun kalemle işaretlemeler yapmaktadırlar. Çocuğunuzun boyunu ölçerken yaptığınız işaretlemeler gibi, gökbilimciler de değişik Tip Ia süpernovalarının bir dizi kızıla kayma ölçümlerini yaparak evrenin değişik zaman dilimleri içinde ne kadar genişlediğini anlamaya çalışırlar. Gökbilimciler yine bu verilere dayanarak evrenin genişleme hızındaki azalma oranını da belirleyebilirler. Daha önce sözünü ettiğimiz iki araştırma ekibi bu amaçları gerçekleştirmek için yola çıkmışlardır.

Bu amaca ulaşmak için son bir adım daha atmaları gerekiyordu: evrenin kurşun kalem işaretlemelerini tarihlendirmek. Öncelikle ışığın belli bir süpernovadan ne zaman salındığını saptamaları gerekir. Bu, rahatlıkla yapılabilecek bir işlemdir. Bir süpernovanın gözüken ve gerçek parlaklıkları arasındaki fark aradaki uzaklığı gösterecektir ve ışığın hızını da bildiğimize göre, süpernovanın ışığının ne kadar zaman önce salındığını kolayca hesaplayabiliriz. Buraya kadar her şey tamam olsa da yukarıda söz edildiği gibi ışığın aldığı yolun "olay sonrası" gerilmesini de dikkate almak gerekir.

Işık genişleyen bir evrende yol alırken, katettiği mesafeyi kısmen kendi hızı sayesinde, kısmen de evrenin genişlemesi sayesinde alır. Bu durumu, havaalanındaki yürüme bandındaki duruma benzetebilirsiniz. Bu bantta kendi gerçek hızınızı arttırmadan normal yürüme hızınızla alacağınızdan daha fazla yol alırsınız, çünkü yürüme bandı sizin hareketinizi arttıran bir etki sağlar. Benzer biçimde, uzak bir süpernovadan salınan ışık gerçek hızını arttırmadan daha fazla yol alır çünkü yolculuğu boyun-

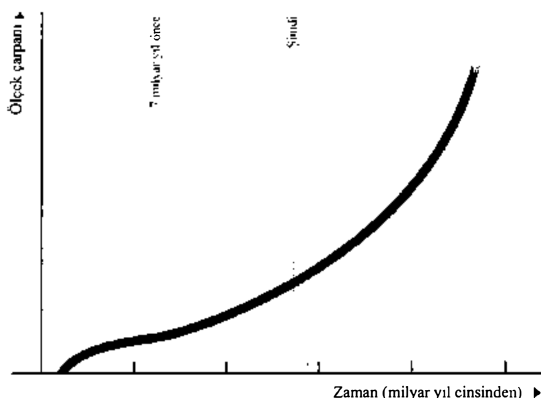
ca genişlemekte olan uzay ışığın hızını arttırıcı bir etki meydana getirir. Bugün gördüğümüz ışığın tam olarak ne zaman salındığına karar verebilmek için sözünü ettiğimiz bu iki katkının dikkate alınması gerekir. Bunun matematiği biraz karmaşık olsa da (Merak ediyorsanız notlara bakabilirsiniz.), konu artık tamamıyla açıklığa kavuşmuştur.[7]

Sözünü ettiğimiz iki araştırmacı ekip, gerek bu konuyu gerek kuram ve gözlem temelli diğer ayrıntıları dikkate alarak evrenin ölçek çarpanının geçmiş zaman dilimleri içindeki büyüklüğü üzerine çözüm üretebilmiştir. Diğer bir deyişle, evrenin farklı boyutlarını kaydeden bir dizi kurşun kalem işaretlemesi bulabilmişler, böylece kozmosun tarihi boyunca genişleme hızının nasıl değiştiğini saptayabilmişlerdir.

Kozmik İvme

Bu araştırma ekipleri bulgularını tekrar tekrar kontrol ettikten sonra vardıkları sonuçları açıkladı. Uzun süredir zannedilenin aksine, son 7 milyar yıl içinde uzayın genişleme hızı azalmıyordu. *Artıyordu.*

Bu öncü çalışmanın ana noktaları, daha sonra sağlamasını yapan gözlemlerle birlikte, Şekil 6.2'de verilmektedir. Gözlemle-



Şekil 6.2 Evrenin zaman içinde değişen ölçek çarpanı kozmik genişlemenin yaklaşık 7 milyar yıl öncesine kadar yavaşladığını, daha sonra hızlandığını göstermektedir.

re göre, 7 milyar yıl öncesine kadar ölçek çarpanı gerçekten de beklenildiği gibi davranmıştır: Büyümesi gittikçe yavaşlamıştır. Bu durum devam etmiş olsaydı grafik çizgisi ya aynı düzeyde kalacak ya da hatta aşağıya doğru eğilecekti. Ancak veriler 7 milyar yıl çizgisinde dramatik bir olgunun gerçekleşmiş olduğunu göstermektedir. Grafik yukarı doğru çıkmakta, bu da ölçek çarpanının büyüme hızının artmaya başladığına işaret etmektedir. Uzayın genişlemesinde ivmelenme (hızında artış) başlamış, evren âdeta ileri vitese geçmiştir.

Kozmik kaderimiz bu grafiğin şekline bağlıdır. Artan hızıyla uzay sonsuza kadar genişlemeye devam edecek, uzaklardaki gökadaları çok daha hızlı biçimde çok daha uzaklara sürükleyecektir. Günümüzden 7 milyar yıl sonrasında, şu an yakınımızda olmayan gökadalar (kütleçekimsel olarak birbirleriyle bağlantılı olan yaklaşık bir düzine gökada "yerel grubumuz" olarak adlandırılmaktadır) kozmik ufkumuzun dışına çıkacak ve artık asla izleyemeyeceğimiz bir bölgeye dahil olacaktır. Geleceğin gökbilimcileri, kendilerine bizlerden ulaşacak kayıtlar olmadığı takdirde, geliştirecekleri kozmolojik kuramlarıyla içinde çok az sayıda gökada bulunan ve uzayın karanlığında yüzen bir ada evreni açıklamaya çalışacaklardır. Bu bakımdan, kendimizi şanslı sayabiliriz. Evrenin bize bahşettiği kavrayışı, ivmeli genişleme geri alacaktır.

Önümüzdeki sayfalarda göreceğimiz gibi, geleceğin gökbilimcilerine sunulan sınırlı görüş açısı, ivmeli genişlemeyi açıklamaya çalışırken bizim kuşağın vardığı kozmik boşluğun devasalığı sonucu ile karşılaştırılınca daha çarpıcı hale gelmektedir.

Kozmolojik Sabit

Bir topun fırlatıldıktan sonra hızının *arttığını* görseydiniz, sanki bir şeyin topu yeryüzünden öteye ittiği sonucuna varırdınız. Süpernova araştıranlar da benzer biçimde bu kozmik kaçışın hızındaki artışın ardında kütleçekiminin nesneleri kendine doğru çeken kuvvetini âdeta ortadan kaldıran ve dışa doğru itilimi sağlayan bir şey olması gerektiğini düşünmüşlerdir. Artık

fazlasıyla aşina olduğumuz üzere, bu iş tanımı, itici kütleçekimine yol açan kozmolojik sabiti ideal aday haline getiriyor. Süpernova gözlemleri de kozmolojik sabiti Einstein'ın yıllar önce mektubunda belirtiği "hatalı bir hüküm" çerçevesinde değil, elde edilen verilerin ışığında tekrar gündeme getirmiştir.

Veriler sayesinde araştırmacılar kozmolojik sabitin sayısal değerini –uzaya yayılmış karanlık enerjinin miktarını– belirleme imkânı da bulmuşlardır. Sonuçları, fizikçiler arasında geleneksel haliyle kütle miktarına eşdeğer bir şekilde ($E=mc^2$ denklemini $m=E/c^2$ biçiminde yazıp) kullanarak açıklayan araştırmacılar, süpernova verilerinin her bir santimetreküp için 10^{-29} gramın altında bir kozmolojik sabit gerektirdiğini gösterdiler.[8] Bilinen verilerle uyumlu olarak, ilk 7 milyar yıllık sürede bu denli küçük bir kozmolojik sabitin dışa itme gücü sıradan madde ve enerjinin içe çekme gücüne yenik düşmüştür. Ancak uzayın genişlemesi sıradan madde ve enerjiyi seyrelterek sonunda kozmolojik sabitin etkili olmasını sağlamış olabilirdi. Hatırlarsanız, kozmolojik sabit seyrelmez; kozmolojik sabit tarafından sağlanan itici kütleçekimi gücü uzayın kendine özgü bir özelliğidir –uzayın her bir santimetreküpü kozmolojik sabitin değerinin gerektirdiği bu dışa itişe katkıda bulunur. Bu nedenle, iki nesne arasında ne kadar çok mesafe varsa, kozmik genişlemeye bağlı olarak, bu nesneleri birbirlerinden ayıran kuvvet de o kadar güçlü olacaktır. 7 milyar yıl çizgisi aşıldığı zaman kozmolojik sabitin itici kütleçekimi gücü etkili olmuş, evrenin genişlemesi de Şekil 6.2'nin gösterdiği gibi o zamandan beri artarak devam etmiştir.

Burada, kozmolojik sabit değerinin ne anlama geldiğini fizikçilerin genellikle anladıkları biçimde tekrar açıklamalıyım. Manavdan 10^{15} pikogramlık patates isteseniz, herhalde yüzünüze tuhaf tuhaf bakardı (Bunun yerine 1 kilo istersiniz ki aynı miktarın gündelik ve anlaşılır birimlerle ifadesidir.). Sizi bekleyen bir arkadaşınıza 10^9 nanosaniye içinde orada olacağınızı söyleseniz, bu da aynı derecede tuhaf karşılanırdı (Bunun yerine 1 saniye dersiniz ki aynı sürenin daha anlaşılır bir birimle ifadesidir.). Bir fizikçi için de her bir santimetreküpe düşen kozmolojik

sabitin enerjisini gram cinsinden ifade etmek aynı ölçüde tuhaftır. Bunun yerine, az sonra anlaşılacak nedenlerden ötürü, kozmolojik sabitin değerini her Planck uzunluğu küpüne (her kenarı 10^{33} santimetre olan ve 10^{-99} santimetreküp hacme sahip küp) düşen Planck kütlesinin (yaklaşık 10^{5} gram) katları olarak ifade etmek çok daha uygundur. Bu durumda, kozmolojik sabitin ölçülen değeri ortalama 10^{-123}tür, yani bu bölümün başında sözünü ettiğimiz o çok küçük sayı.[9]

Peki, bu sonuçtan ne kadar eminiz? İvmeli bir genişlemeyi gösteren veriler ilk ölçümlerin yapıldığı yıllardan bu yana yeni yeni kesinlik kazandılar. Bunun yanı sıra, destekleyici başka ölçümler (örneğin, mikrodalga fon ışınımının ayrıntılı özellikleri üzerine yapılan ölçümler; bkz. *Evrenin Dokusu,* XIV. Bölüm) süpernova sonuçlarıyla çarpıcı bir şekilde uyuşmaktadır. Bir hata aranması gerekiyorsa, evrenin ivmeli genişlemesini nasıl açıkladığımıza bakmak gerekir. Genel göreliliği kütleçekiminin matematiksel tanımlaması olarak alınca, gerçekten de tek seçeneğimiz kozmolojik bir sabitin kütleçekimi karşıtı gücü olmaktadır. Eğer bu resmi egzotik kuantum alanlarını da (şişme kozmolojisinde ele alınan ve bazı dönemlerde kozmolojik sabitmiş gibi düşünülen)[10] katarak değiştirirsek, başka açıklamalar da bulunabilir. Bu olası açıklamalar, genel göreliliğin denklemlerini değiştirerek de sağlanabilir (Öyle ki Newton'un ya da Einstein'ın matematiğinde ifade edilenden farklı olarak, çekici kütleçekimi kuvveti uzaklığa bağlı olarak daha dik bir düşüş gösterir ve bir kozmolojik sabite ihtiyaç duyulmadan, uzak bölgelerin bizden çok daha hızlı biçimde uzaklaşmalarına neden olur.). Ancak şu ana kadar ivmeli bir genişleme konusunda ortaya atılan açıklamaların en basit ve anlaşılır olanı, kozmolojik sabitin kaybolmadığını ve uzayın kara enerjiyle dolduğunu anlatan açıklamadır.

Pek çok araştırmacı açısından, değeri sıfır olmayan bir kozmolojik sabitin keşfedilmesi, belki de yaşamları boyunca karşılaştıkları en şaşırtıcı sonuç olmuştur.

Sıfırı Açıklamak

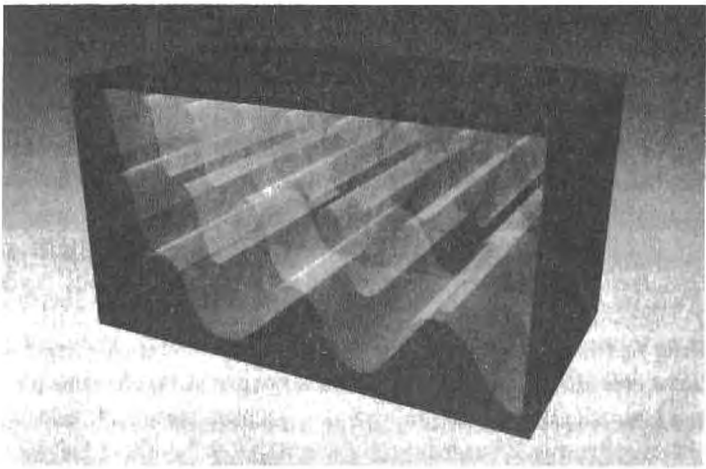
Sıfıra eşit olmayan bir kozmolojik sabitten söz eden süpernova sonuçlarıyla ilk kez karşılaştığımda pek çok fizikçinin gösterdiği tepkiyi gösterip "Böyle bir şey olamaz," demiştim. Çoğu kuramcı (ama hepsi değil) kozmolojik sabit değerinin sıfır olduğu kararına on yıllar öncesinde varmışlardı. Bu görüşün ilk kaynağı, Einstein'ın sonradan "en büyük hatam" dediği bilgiydi ama zaman içinde bu bilgiyi destekleyen pek çok sav öne sürülmüştü. En ikna edici değerlendirmeler ise kuantum belirsizliği ilkesine dayanıyordu.

Kuantum belirsizliği ve tüm kuantum alanlarında gözlenen titremeler nedeniyle, bomboş uzay bile çılgın mikroskobik aktivitelerle doludur. Tıpkı bir kutu içinde çeperlere çarpıp dolanan atomlar ya da oyun bahçesinde koşuşturan çocuklar gibi, kuantum titremeleri de enerji barındırırlar. Ancak atomlardan ya da çocuklardan farklı olarak kuantum titremeleri her zaman her yerde mevcuttur ve kaçınılmazdır. Söz gelimi, uzayda herhangi bir bölgeyi kapalı ilan edip o bölgedeki kuantum titremelerini eve yollayamazsınız. Kuantum titremeleriyle oluşan enerji tüm uzaya yayılır ve çekip çıkartılamaz. Kozmolojik sabit uzaya yayılan bir enerjiden başka bir şey değildir. Dolayısıyla, kuantum alanı titremeleri, kozmolojik sabit *oluşturan* mikroskobik bir mekanizma sağlar. Bu, can alıcı bir noktadır. Einstein'ın kozmolojik sabit kavramını ortaya atışını hatırlayacaksınız –kozmolojik sabiti tamamen soyut bir kavram olarak ortaya atmış ve ne olabileceğinden, nereden kaynaklandığından ya da nasıl meydana geldiğinden söz etmemişti. Konuyu kuantum titremelerine bağlı olarak düşündüğümüzde şöyle diyebiliriz: Einstein kozmolojik sabitten hiç söz etmemiş olsaydı bile, kuantum fiziğiyle ilgilenen birisi günün birinde bundan mutlaka söz edecekti. Kuantum mekaniğini dikkate aldığınız an, uzayın her tarafına aynı şekilde yayılmış alanların yarattığı enerjiyi de mutlaka dikkate almak ve kozmolojik sabit kavramına yönelmek zorunda kalırsınız.

Burada sorulması gereken sayısal bir ayrıntıdır. *Bu her zaman her yerde var olan kuantum titremeleri ne kadar enerji içermektedir?* Kuramcılar bu sorunun yanıtını hesapladıklarında,

oldukça gülünç bir sonuçla karşılaştılar: Uzayın her bir noktasında *sonsuz* miktarda enerji olmalıydı. Bu yanıtı anlayabilmek için şöyle bir şey düşünün: Herhangi bir büyüklükteki boş bir kutunun içinde kuantum alan titremeleri olsun. Şekil 6.3 titremelerin alabileceği varsayımsal biçimleri örneklemektedir. Her bir titreme, alanın enerji kapasitesini arttıracaktır (aslında, dalga boyu ne kadar kısa olursa, titreme o kadar hızlanacak, dolayısıyla o kadar fazla enerji açığa çıkacaktır). Açıklamaya göre, her biri bir öncekine göre daha kısa dalga boyuna sahip sonsuz sayıda olası dalga biçimi bulunduğundan, titremelerin barındırdığı toplam enerji miktarı sonsuz olacaktı.[11]

Hiçbir biçimde kabul edilemez olduğu açık olsa da bu sonuç öyle sarsıcı bir tepkiyle karşılanmadı çünkü araştırmacılar bunu, çok iyi bilinen ve daha önce ele aldığımız daha büyük bir sorunun uzantısı olarak ele aldılar, yani kütleçekimiyle kuantum mekaniği arasındaki uyuşmazlığın. Herkes, son derece küçük ölçekli uzaklıklar söz konusu olduğunda kuantum alan kuramına güvenilmemesi gerektiğini biliyordu. Planck ölçeğiyle 10^{-33} santimetre, hatta daha küçük dalga boyundaki titremelerin öyle büyük enerjileri (kütle denklemi $m = E/c^2$den) vardır ki kütleçekimi kuvveti burada önemli hale gelir. Bunu daha iyi açıklayabilmek için kuantum mekaniği ile genel göreliliğin bağdaştırılmasına ihtiyaç vardır. Kavramsal olarak bu da konuyu sicim kuramına ya da kütleçekimi ile ilişki kuran herhangi başka kuantum kuramına taşımaktadır. Ne var ki araştırmacılar işin daha hızlı ve pratik yanına bakarak hesaplamalarda Planck uzunluğundan daha küçük ölçeklerdeki titremelerin dikkate alınmamasını önerdiler. Bu türden titremelerin dışarda bırakılmasının aksaması durumunda, kuantum alan kuramı hesaplamaları, açık bir şekilde geçerlilik alanlarının ötesinde olan alanlara uzanır. Beklentiler bir gün sicim kuramının ya da kuantum kütleçekiminin böyle çok küçük titremeleri sayısal değerleriyle açıklayabilecek duruma geleceği yönündeydi, ama şu anda risk taşıyan belirsizlikleri bir kenara koyup matematiksel bir karantinada tutmak daha uygundu. Buradaki bakış açısı son derece açıktı: Planck



Şekil 6.3 Herhangi bir hacim içinde sonsuz sayıda dalga biçimleri, dolayısıyla, sonsuz çeşitlilikte pek çok kuantum titremesi bulunur. Bu da sonsuz enerji katkısı gibi problemli bir sonuç doğurur.

uzunluğundan daha kısa titremeleri yok sayarsanız elinizde sadece sonlu bir sayı kalır, böylece titremelerin boş bir uzay alanına kattıkları toplam enerji de sonlu bir tanıma kavuşur.

Kaydedilen ilerleme buydu. En azından, çok küçük dalga boyundaki kuantum titremeleriyle baş etmek sorumluluğu gelecek nesillere bırakılmıştı. Fakat araştırmacılar, enerji titremeleri için bulunan cevabın sonlu olmasına rağmen çok büyük olduğunu, her santimetreküpte 10^{94} gram gibi bir değer taşıdığını fark ettiler. Bu değer, bilinen gökadalardaki tüm yıldızları sıkıştırıp küçücük bir yüksüğün içine toplasanız bile elde edeceğiniz değerden yine de kat kat büyüktü. Her kenarı Planck uzunluğunda olan, ölçülemeyecek kadar küçük bir küp olsa, bu muazzam yoğunluk her Planck küpü için 10^{-5} grama ya da her Planck hacmi için 1 Planck kütlesine karşılık gelir (Bu nedenle günlük yaşamda, örneğin, patates için kilo, bekleme zamanı için saniye birimleri kullanmamız son derece anlaşılabilir seçimlerdir.). Bu büyüklükteki bir kozmolojik sabit, öylesine hızlı ve büyük bir patlamaya yol açar ki gökadalardan tutun atomlara kadar her şey bir anda parçalarına ayrılır. Gökbilim gözlemlerinde kozmolojik sabitin, eğer gerçekten varsa, ne kadar büyük olabileceği konu-

sunda sıkı bir sınır getirilmişti. Ancak kuramsal sonuçlar, bu sınırın yüz basamaktan fazlasına da ulaşılabildiğini gösterdi. Uzayı kaplayan büyük ancak sonlu miktarda bir enerji sonsuz miktarda bir enerjiden iyi olsa bile, fizikçiler böyle bir sonucu hesaplamalarına dahil etmemeyi tercih ettiler.

İşte kuramsal önyargının öne çıktığı nokta budur. Şimdilik kozmolojik sabitin sadece küçük bir değer olmadığını düşünün. Sıfır olsun. Kuramcılar sıfır sayısını severler, çünkü hesaplamaların sıfır sonucunu vermesi için denenmiş ve doğru bir yol vardır: Simetri. Örnek vermek gerekirse, diyelim ki Archie bir sürekli eğitim merkezinde ders alıyor ve ev ödevi olarak da kendisinden ilk on pozitif sayının altmış üçüncü kuvvetlerini, $1^{63} + 2^{63} + 3^{63} + 4^{63} + 5^{63} + 6^{63} + 7^{63} + 8^{63} + 9^{63} + 10^{63}$ toplamasını, sonra da çıkan sonucu ilk on negatif sayının altmış üçüncü kuvvetlerinin toplamına, $(-1)^{63} + (-2)^{63} + (-3)^{63} + (-4)^{63} + (-5)^{63} + (-6)^{63} + (-7)^{63} + (-8)^{63} + (-9)^{63} + (-10)^{63}$, eklemesi isteniyor. Sonuç ne olur? Archie her biri onlarca basamaklı sayılarla canını dişine takıp her seferinde daha da yılmış biçimde hesap yapmaya uğraşırken, Edith araya girer ve der ki "Archie, bence simetri kullan." "Efendim?" Edith'in demek istediği şudur: Pozitif sayılar grubundaki her sayının, negatif sayılar grubunda onu dengeleyen bir simetrisi vardır: 1^{63} ve $(-1)^{63}$ birbirlerini sıfırlarlar (Negatif bir sayının tek sayılı kuvveti de yine negatiftir.). Benzer biçimde 2^{63} ve $(-2)^{63}$ ve diğer sayılar da. Sayılar arasındaki simetri sonucunda pozitif ve negatif sayı çiftlerinin birbirlerini tamamen dengelediği ve sıfırladığı görülür. Tıpkı tahterevallide oturan ve birbirlerini dengeleyen aynı kilodaki çocuklar gibi. Hiç hesap yapmaya gerek kalmadan, Edith yanıtın 0 olduğunu söyler.

Çoğu fizikçinin inancı –aslında umudu demeliyim– fizik yasalarında henüz keşfedilmemiş bir simetrinin bu tarzda toplam bir sıfırlamayı mümkün kılarak kuantum titremelerindeki enerjiyi hesaplama sorununu ortadan kaldıracağıydı. Fizikçiler, gerekli çalışmalar yapılırsa, kuantum titreşimlerindeki muazzam enerjinin henüz keşfedilmemiş ancak dengeleyici başka bir etmenle sıfırlanabileceğini tahmin ediyorlardı. Bu, yaklaşık hesaplamalardan

doğan sıkıntılı sonuçların verdiği rahatsızlığa katlanabilmek için fizikçilerin ürettiği yegâne strateji olmuştu. Bu nedenle pek çok kuramcı kozmolojik sabitin sıfır olması gerektiğinden yanaydı.

Süpersimetri kuramı aslında böyle bir düşüncenin mümkün olabileceğine yönelik somut bir örnek sunmaktadır. IV. Bölüm'den (Tablo 4.1.) hatırlarsanız, süpersimetride parçacık çiftlerinden, dolayısıyla, alan çiftlerinden söz edilir: elektronlar, süpersimetrik elektronlar adı verilen(kısaca selektron denilen) parçacık türleriyle, kuarklar skuarklarla, nötrinolar snötrinolarla vb. eşlenirler. Tüm bu sparçacıklar (parçacıkların süpereşleri) şu an için varsayımsaldır ama önümüzdeki birkaç yıl içinde Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda gerçekleştirilecek deneylerle gerçekten var oldukları kanıtlanabilir. Ancak, kuramcılar alan çiftleriyle bağlantılı olduğu düşünülen kuantum titremelerini matematiksel olarak incelediklerinde ortaya son derece ilginç bir sonuç çıktı. İlk gruptaki her bir titremenin aynı büyüklükte ancak zıt işaretli bir eş-titremesi bulunmaktaydı. Tıpkı Archie'nin ödevindeki sayılar gibi. Yine tıpkı bu örnekte olduğu gibi, birinci ve ikinci gruptakileri eşlemeler olarak topladığımızda birbirlerini götürüyorlar ve sıfır sonucu elde ediliyordu.[12]

Bu sonucun kayda değer noktası şu ki birbirlerini dengelemek ya da sıfırlamak için eşlenen parçacıkların sadece aynı elektrik ve nükleer yüklere sahip olmaları yetmiyor (Gerçekten de böyledirler.), aynı zamanda eşit kütlelere de sahip olmaları gerekiyordu. Ne var ki deneysel veriler bunun böyle olmadığını gösterdi. Doğada süpersimetri bulunsa bile bu süpersimetri her zaman en mükemmel biçiminde gerçekleşmeyebilir. Henüz bulunmamış bu parçacıklar (selektronlar, skuarklar, snötrinolar vb.) bildiğimiz eşlerinden çok daha ağır olabilirler –bu da bu parçacıkların hızlandırıcı deneylerinde neden gözlenemediklerini açıklayabilir. Farklı parçacık kütleleri söz konusu olduğunda simetri bozulacak, denge dengesizliğe dönecek ve sıfırlamalar ortadan kalkacaktır, dolayısıyla, yine muazzam büyüklükte sayılarla karşılaşılacaktır.

Yıllar içinde, ilave simetri ilkelerinden ve sıfırlama mekanizmalarından söz eden benzeri pek çok öneri ortaya atılmıştır, an-

cak hiçbiri kozmolojik sabiti ortadan kaldırabilecek kuramsal bir açıklama sağlayamamıştır. Böyle olsa da pek çok araştırmacı bu durumu sınırlı fizik anlayışımıza bağlamış, kozmolojik sabitin ortadan kaldırılması düşüncesinin yanlış bir yaklaşım olduğunu düşünmemişlerdir.

Bu genel kanıyı sorgulayan fizikçilerden bir tanesi Nobel ödüllü Steven Weinberg'dir.* 1987'de, yani devrim niteliğindeki süpernova ölçümlerinden on küsur yıl önce yayınladığı bir makalesinde, Weinberg tamamen farklı bir sonuç veren alternatif bir kuramsal çerçeve önerdi: *Sıfır olmayan* ancak küçük değerde bir kozmolojik sabit. Weinberg'in hesaplamaları fizik çevrelerini uzun zamandır etkileyen ve fazlasıyla kutuplaşmalara neden olan bir kavrama dayanıyordu –kimilerinin saygı duyduğu, kimilerinin açıkça karaladığı, son derece yetkin kimilerinin de aptalca bulduğu bir kavrama. Bu kavramın bilinen –ama yanıltıcı– adı *insan temelli* (antropik) *ilke*'dir.

Kozmolojide İnsan Temelli İlke

Mikolaj Kopernik'in güneş merkezli güneş sistemi modeli, biz insanların kozmosun odak noktası olmadığının ilk bilimsel ve ikna edici kanıtı olarak kabul edilir. Modern çalışmalarda da bu yaklaşım fazlasıyla desteklenmiştir. Şimdi anlıyoruz ki Kopernik'in görüşleri çok eski zamanlardan beri insanın özel konumunu göz önüne alan anlayışları da bir kenara atmaktadır: Biz insanlar, güneş sisteminin merkezinde değiliz, gökadanın merkezinde değiliz, evrenin merkezi de değiliz, hatta evrenin kütlesinin önemli bölümünü oluşturan kara içerikten de oluşmuyoruz. İnsanı bu biçimde bir başrol oyuncusundan önemsiz bir konuma düşüren kozmik yaklaşımı bilim insanları *Kopernik İlkesi* olarak adlandırmaktadırlar: Bu kapsamda bildiklerimiz insanı hiçbir biçimde ayrıcalıklı bir yere koymamaktadır.

Kopernik'in çalışmasından yaklaşık beş yüz yıl sonra Kraków'da yapılan bir anma konferansında, özellikle Avusturalyalı fizikçi

* Cambridge Üniversitesi'nden astrofizikçi George Efstathiou da sıfıra eşitlenemeyen bir kozmolojik sabiti ısrarla ve ikna edici bir biçimde savunan ilk araştırmacılar arasındaydı.

Brandon Carter'ın sunduğu bildiri Kopernik ilkesini sorgulayıcı bir nitelik taşıyordu. Carter'a göre, Kopernik'in bakış açısına fazla bağlı kalınması belli durumlarda araştırmacıları yeni gelişmelerin sağlayabileceği önemli fırsatlardan uzaklaştırabilirdi. Biz insanların kozmik düzenin merkezinde olmadığı görüşüne Carter da katılıyordu. Alfred Russel Wallace, Abraham Zelmanov ve Robert Dicke gibi bilim insanlarının görüşlerine paralel biçimde Carter, ancak, diyordu, öyle bir alan var ki biz insanlar olarak orada çok önemli bir rol oynuyoruz: kendi gözlemlerimiz. Kopernik'in bakış açısından her ne kadar önemsiz görülmüş olsak da inandığımız ilkeleri biçimlendiren verileri toplayan ve çözümleyenler yine bizleriz. Bu kaçınılmaz rolümüz nedeniyle, istatistikçilerin *seçim yanlılığı* olarak adlandırdıkları kavramı göz önüne almalıyız.

Basit ancak herkes tarafından kabul görmüş bir bilgidir: Alabalık popülasyonunu inceliyorsanız ama sadece Sahra Çölü'ne bakıyorsanız, araştırma konunuza uygun olmayan bir ortama odaklandığınız için verileriniz yanlı olacaktır. Toplumun genelinde operaya olan ilgiyi araştırıyor ama anketlerinizi sadece *Operasız Yaşayamam* adlı bir derginin oluşturduğu veri tabanına gönderseniz, elde edeceğiniz sonuçlar geçerli olmayacaktır çünkü anketinizi yanıtlayanlar toplumun genelini temsil etmezler. Son derece güç koşullardan geçerek sığındıkları ülkeye ulaşan bir grup mülteciyle görüşme yapıyorsanız bu mültecilerin gezegendeki en dayanıklı etnik gruplardan birine mensup oldukları sonucuna varabilirsiniz. Fakat görüşme yaptığınız grubun, ülkelerinden kaçan ve benzer zorlukları yaşayanların ancak yüzde biri olduğunu öğrendiğinizde, verdiğiniz bilginin yanlı olduğunun farkına varırsınız çünkü bu kişiler sığındıkları ülkeye gelene kadar hayatta kalmayı becerebilenlerdir sadece.

Bu türden yanlılıklara değinmek, araştırmalarda anlamlı sonuçların ortaya konulması ve temsil gücü olmayan verilere dayalı sonuçları açıklayabilmek için ileride boşuna araştırma yapılmasını engellemek açısından büyük önem taşımaktadır. Alabalıkların soyu neden tükendi? Halkın operaya ilgisinin artmasının nedeni nedir? Belli bir etnik grup neden diğerlerine göre daha dayanık-

lı çıkmıştır? Yanlı gözlemler daha geniş ve temsil gücü daha yüksek olan çalışmalar arasında sizin çalışmanızı tartışmaya açık hale getirir ve siz de anlamsız biçimde açıklama bulmaya çalışırsınız.

Çoğu durumda bu tür yanlı bakış açıları kolayca saptanıp düzeltilebilir. Ancak yanlılığın öyle temel bir türü vardır ki kolaylıkla gözden kaçabilir. Ne zaman ve nerede *yaşayabildiğimiz*, bu bağlamda görebildiklerimize önemli sınırlılıklar getirebilir. Bu tür sınırlılıkların gözlemlerimiz üzerindeki etkisinin farkına varamazsak, yukarıdaki örneklerde olduğu gibi, son derece yanlış sonuçlar çıkarabilir ve kendimizi bu yanlışa bir açıklama getirebilmek için nafile çabalar harcarken bulabiliriz.

Örneğin, büyük bilim insanı Johannes Kepler gibi Dünya'nın Güneş'ten neden 93 milyon mil uzaklıkta olduğunu anlamayı ve fizik yasalarına dayanarak bu olguyu açıklayacak bir şeyler bulmayı amaçladığınızı düşünün. Yıllarca çabaladınız ama bir türlü ikna edici bir açıklama elde edemediniz. Uğraşınıza devam etmeli misiniz? Seçim yanlılığını da göz önüne alarak çabalarınıza dönüp baktığınızda boşa kürek çektiğinizi anlarsınız.

Hem Newton'un hem Einstein'ın kütleçekimi yasalarına göre, bir gezegen herhangi bir uzaklıkta bir yıldızın yörüngesinde dönebilir. Dünya'yı elinizle kavrayıp Güneş'ten keyfi uzaklıkta bir yere götürüp koysanız, sonra da uygun bir hızda (temel fizik için kolaylıkla hesaplanabilir bir hız) tekrar hareketini sağlasanız, Dünya gayet güzel bir biçimde yörüngeye girecektir. O halde, Dünya'nın Güneş'ten 93 milyon mil uzaklıkta olmasının tek özel nedeni, bizim yaşayabileceğimiz bir sıcaklık derecesinin olabilmesidir, diyeceğiz. Eğer Dünya Güneş'e daha yakın ya da ondan daha uzakta bir yerde olsaydı, sıcaklık daha fazla ya da daha az olacak, yaşamın temel bileşeni olan sıvı halinde su da ortadan kalkacaktı. Bu bakış açısı temel bir yanlılığı açıkça ortaya koymaktadır. Gezegenimizin Güneş'e olan uzaklığını ölçen *biz* olduğumuz için, bulacağımız sonuç bizim hayatta kalmamıza imkân veren sınırlı bir değer aralığı içinde olmalıdır. Aksi takdirde, zaten burada olup Dünya ile Güneş arasındaki uzaklığın üzerine düşünmezdik.

Dünya Güneş sistemindeki ya da evrendeki yegâne gezegen olmuş olsaydı bile, siz yine araştırmalarınızı sürdürmek isterdiniz. Şöyle derdiniz: Benim varlığım Dünya'nın Güneş'e olan uzaklığı ile bağlantılı, ama Dünya'nın neden böyle yaşam için uygun bir uzaklıkta konumlanmış olduğunu anlamak istiyorum. Yoksa bu tamamen bir tesadüf mü? Daha iyi bir açıklaması var mıdır?

Ne var ki Dünya, bırakın evreni, Güneş sistemindeki tek gezegen de değildir. Başka birçok gezegen var. İşte bu gerçeği düşündüğümüzde, sorulan sorulara farklı bir bakış açısından bakmak gerekmektedir. Ne demek istediğimi daha açık anlatabilmem için şöyle bir durum düşünün: Diyelim ki bir ayakkabı mağazasında satılan tüm ayakkabıların numaralarının aynı olduğunu zannediyorsunuz ve satış elemanı size ayağınıza tastamam uyan bir ayakkabı getirdiğinde son derece şaşırıyor ve diyorsunuz ki "Bu mağazada sadece benim ayakkabı numaramda ayakkabı satılıyor olması harika bir şey! Yoksa bu tamamen bir tesadüf mü? Daha iyi bir açıklaması var mıdır?" Ancak mağazada her ayak numarasına uygun çeşit çeşit ayakkabıların satıldığını öğrendiğiniz zaman, sorduğunuz soruların anlamı kalmayacaktır. İçinde, her biri yörüngesinde döndüğü yıldızdan belli bir uzaklıkta yer alan pek çok gezegenin bulunduğu bir evren de benzer bir durum göstermektedir. İçinde çeşitli numaralarda ayakkabıların bulunduğu mağazada sizin numaranıza uygun bir ayakkabının bulunması nasıl büyük bir sürpriz değilse, bütün gökadalardaki bütün güneş sistemlerinde bulunan bütün gezegenler arasında yörüngesinde döndüğü yıldızından yaşam için uygun iklimi sağlayan uzaklıkta yer almış en azından bir tane gezegenin bulunması da o kadar sürpriz olmasa gerek. İşte o gezegenlerden biri üzerinde de bizler yaşıyoruz. Başka gezegenlerde evrilip yaşam sürdürebilmemiz zaten mümkün olamazdı.

O halde, Dünya'nın Güneş'ten 93 milyon mil uzaklıkta olmasının belli bir nedeni yoktur. Bir gezegenin yörüngesinde döndüğü yıldızına olan uzaklığı tamamen geçmiş zamanlarda meydana gelmiş rastlantısal olaylara, bir gaz bulutu girdabının sayısız, ayrıntılı özelliklerine bağlıdır; basit bir açıklama ile izah edi-

lemez. İşte bu astrofizik süreçler kozmosun derinlikleri içinde her biri kendi güneşi çevresinde farklı mesafelerde dönüp duran gezegenleri meydana getirmiştir. Bizler bu gezegenlerin içinde Güneş'ten 93 milyon mil uzaklıkta yer alan bir tanesinde kendimizi bulduk çünkü bu gezegen bizim yaşam biçimlerimizin ortaya *çıkabileceği* koşulları sağlamıştır. Buradaki seçim yanlılığını göz ardı ettiğinizde çok karmaşık sorular sormaya yeltenebilirsiniz. Ancak bu saçma bir şey olur.

Carter'ın bildirisi işte böyle bir yanlılığa, kendi deyimiyle insan temelli ilkeye (talihsiz bir adlandırma çünkü bu fikir sadece insanlar için değil, gözlem yapıp çözümleyebilen tüm zeki yaşam biçimleri için uygundur) dikkat etmenin ne kadar önemli olduğuna işaret etmekteydi. Kimse Carter'ın savının bu kısmına karşı çıkmadı. Görüşünün çelişkili yanı, insan temelli ilkenin gezegenlerin uzaklıkları gibi yalnızca evrendeki şeyleri değil, evrenin kendisini de bağlıyor olmasıydı.

Bu ne anlama geliyordu?

Şimdi de diyelim ki evrenin bazı temel özelliklerini, örneğin bir elektronun kütlesini, yani elektron kütlesinin proton kütlesine oranı şeklinde ifade edilen 0,00054'ü, elektromanyetik kuvvetin şiddetini, yani eşleşme sabitinin ifadesi olan 0,0073'ü ya da burada konumuz olan kozmolojik sabitin değerini, yani Planck birimi olarak $1{,}38 \times 10^{-123}$ü anlamaya çalışıyorsunuz. Amacınız, bu sabitlerin neden kendilerine özgü bu değerlere sahip olduklarını açıklamak. Uğraştınız, çabaladınız, ama hiçbir sonuç elde edemediniz. O zaman bir adım geriye gidin, der Carter. Belki de Dünya ile Güneş arasındaki uzaklığı sorgularken sizi başarısızlığa götüren aynı nedenden ötürü bir sonuca ulaşamadınız: çünkü bunun da temel bir açıklaması yok. Tıpkı değişik mesafelerde pek çok gezegenin olması ve bizim de bu gezegenlerden bir tanesinin uygun koşulları sağlamasından ötürü yaşam bulmamız gibi, belki de değişik "sabitler" için farklı değerlerin bulunduğu pek çok evren vardır. Biz, bu evrenlerden sabitlerinin değerleri yaşam bulmamızı sağlamış olanında yaşıyor olabiliriz.

Bu şekilde düşününce, sabitlerin neden kendilerine özgü değerlerinin olduğu sorusu yanlış türde bir sorudur. Bu sabitlerin değerlerini belirleyen bir yasa yoktur: Çoklu bir evrende bu değerler farklılıklar gösterebilir ve zaten gösteriyor. İçsel seçim yanlılığımız gösteriyor ki biz çoklu evrenin, sabitleri alışık olduğumuz değerlere sahip bir bölümünde yaşam bulmuşuz. Çoklu evrenin bu değerlerin farklılık gösterdiği bir bölümünde zaten var olamazdık.

Eğer evrenimiz yegâne evren olsaydı, o zaman "ne güzel tesadüf" yorumunu yapar ya da "daha derinlikli açıklamalar" türünden sorgulamalara girebilirdiniz. Ayakkabı mağazasında sizin ayakkabı numaranızın bulunmasının iyi bir açıklamasının rafların her numaradan ayakkabı ile dolu olması ve Güneş'ten uzaklığı bizim yaşam koşullarımıza uygun bir gezegenin varlığının iyi bir açıklamasının gezegenlerin yıldızlarından çeşitli uzaklıklarda yörüngelere sahip olması olduğu gibi, doğanın sabitlerinin neden kendilerine özgü değerlere sahip olduğunun iyi bir açıklaması ise bu sabitlerin değişik değerler alabileceği çeşitli evrenlerin var olması olacaktır. Yalnızca bir çoklu evren ortamında insan temelli akıl yürütme esrarengiz olanı sıradanlaştırma kapasitesine sahiptir.*

O halde denilebilir ki insan temelli yaklaşımı ne kadar benimsediğiniz, bu yaklaşımın üç temel varsayımını ne kadar benimsediğinize bağlıdır: (1) evrenimiz bir çoklu evrenin parçasıdır; (2) sabitlerin değerleri her bir çoklu evrende evrenden evrene farklılıklar gösterir; (3) sabitlerin ölçtüğümüz değerlerin dışında sahip olabileceği değerlerin çoğunda, bizim anladığımız anlamda yaşam biçimleri tutunamaz.

1970'lerde Carter bu görüşleri öne sürdüğü zaman pek çok fizikçi için paralel evrenler konusu âdeta bilim çevrelerinden aforoz edilme nedeniydi. Elbette bu konuda hâlâ bazı şüpheler taşınabilir. Ancak daha önceki bölümlerde gördüğümüz gibi, çoklu evren versiyonlarının hepsi kesin olmayan öneriler olsa da ger-

* VII. Bölüm'de daha çok ayrıntıya değinip daha çok genelleyerek çoklu evren kavramına yönelik kuramları sınamanın zorluklarını ele alacağız; ayrıca insan temelli akıl yürütmenin sınanabilir sonuçlar elde etmedeki rolünü daha yakından inceleyeceğiz.

çekliğe dair bu yeni bakış açısına gereken ilginin gösterilmesi için yeterli neden bulunmaktadır (Varsayım 1). Pek çok bilim insanı artık bu konuya eğilmeye başlamıştır. Varsayım 2'ye gelince, daha önce ele aldığımız Şişme Evreli Çoklu Evren ve Zar Çoklu Evren modelleri gibi, farklı fiziksel özelliklerin, örneğin, doğanın sabitlerinin, evrenden evrene farklılaştığını gördük. Bu bölümde daha sonra bu konuyu daha ayrıntılı olarak ele alacağız.

Peki, yaşam ve sabitlerin değerlerine ilişkin Varsayım 3 ile ilgili olarak neler söylenebilir?

Yaşam, Gökadalar ve Doğadaki Sayılar

Doğanın sabitlerinin değerleri üzerinde küçücük bir değişiklik yapılsa, bildiğimiz anlamda bir yaşamın varlığı ortadan kalkardı. Kütleçekimi sabitini daha kuvvetli hale getirin, yıldızlar çabucak yanıp yok olacak, yakınlarındaki gezegenlerde yaşamın oluşmasına izin vermeyecektir. Sabitin kuvvetini azaltın, bu kez de gökadalar bir arada tutulamayacaktır. Elektromanyetik kuvveti arttırın, o zaman da hidrojen atomları birbirlerini büyük bir güçle itecekler ve yıldızlara gerekli gücü sağlayamayacaklardır. [13] Peki ya kozmolojik sabit? Yaşamın varlığı bu sabitin değerine mi bağlıdır? Steven Weinberg 1987'deki makalesinde işte bu soruya yanıt aramaktaydı.

Dünya üzerinde yaşamın ortaya çıkışı karmaşık ve kavrayışımızın kısıtlı olduğu süreç olduğundan, Weinberg, kozmolojik sabit değerinin şu ya da bu miktarda olmasıyla yaşam varlığının doğrudan nasıl etkileneceğini bir türlü kestiremiyordu. Ancak Weinberg vazgeçmedi ve yaşamın ortaya çıkışı konusunda zekice bir düşünce ortaya attı. Gökadalar olmadan, diye düşündü, yaşamın ortaya çıkmasında çok önemli rolü olan yıldızların ve gezegenlerin oluşumu da mümkün olmazdı. Bu yaklaşım hem çok mantıklı hem de çok kullanışlıydı: kozmolojik sabitin farklı değerlerinin gökadaların oluşmasındaki etkilerine odaklanılmasını sağladı. Bu da Weinberg'in çözebileceği bir sorundu.

Bunun için başlangıç seviyesindeki fizik yeterlidir. Gökadaların oluşumu hakkındaki kesin bilgiler ciddi araştırmalar gerek-

tirirken, yüzeysel bilgilerin hakim olduğu süreçler astrofiziksel bir kartopu etkisi yaratabilmektedir. Uzayda şu ya da bu noktada bir madde kümesi bulunabilir. Bu madde kümesinin yoğunluğu çevresindekilerden daha fazlaysa yakınındaki maddeler üzerine göreceli olarak daha büyük bir kütleçekimi kuvveti uygulayacak ve kendine çektiği maddeler sonucu daha da büyüyecektir. Bu süreç kendini besleyerek devam eder ve kendi etrafında dönüp duran bir toz ve gaz bulutu oluşturur. Bunun sonucunda da yıldızlar ve gezegenler ortaya çıkacaktır. Weinberg'in düşüncesine göre, yeterince büyük bir değere sahip bir kozmolojik sabitin olması kümelenmeyi engelleyecektir. Sabitin oluşturduğu itici kütleçekimi yeterince kuvvetli ise ilk oluşan –zaten küçük ve zayıf olan– madde kümeciklerini birbirlerinden uzaklaştıracak ve daha çevredeki diğer maddeleri kendine çekmeye fırsat yaratmadan galaktik oluşumu önleyecektir.

Weinberg bu düşüncesi üzerinde matematiksel yöntemlerle de çalışmış ve şu andaki kozmolojik madde yoğunluğundan –metreküp başına birkaç proton– birkaç yüz kez daha büyük bir kozmolojik sabitin gökadaların oluşumunu engelleyeceğini savunmuştur. (Weinberg negatif kozmolojik sabitin etkisini de dikkate almıştır. Bu durumda kısıtlar daha sıkıdır çünkü negatif bir değer kütleçekimi kuvvetini daha da arttıracak ve bütün evren daha yıldızların tutuşmasına bile fırsat kalmadan çökecektir.). Bir çoklu evrenin parçası olduğumuzu ve kozmolojik sabitin değerinin –tıpkı bir gezegenle yıldız arasındaki uzaklığın bir güneş sisteminden öbürüne farklılaşabileceği gibi– evrenden evrene büyük değişiklikler gösterebileceğini düşünürseniz gökadası olan evrenlerin, dolayısıyla içinde yaşayabilmemizi mümkün kılan evrenlerin, kozmolojik sabitin Weinberg'in belirttiği sınırdan, yani Planck birimiyle 10^{-121}den büyük olmayan evrenler olacağını anlarsınız.

Fizik çevrelerinde yıllarca süren çeşitli çalışmaların başarısızlıkla sonuçlanmasından sonra, Weinberg'in hesaplamaları kozmolojik sabit değeri açısından ortaya konulmuş gökbilim gözlemlerinin belirlediği sınırlardan daha büyük olmayan ilk ku-

ramsal sonuçlardı. Bu sonuçlar, Weinberg'in çalışmasını yaptığı dönemde, kozmolojik sabitin ortadan kalkmış olabileceği gibi yaygın olarak benimsenmiş görüşe de ters düşmüyordu. Elde ettiği başarıyı bir adım daha ileriye taşımak isteyen Weinberg, sonuçlarına dayanarak daha da iddialı bir yoruma gitti. Buna göre, bir gün kendimizi yaşamamız için yeterli olabilecek minimum kozmolojik sabit değerine sahip bir evrende bulabilirdik. Weinberg'e göre, bu değerden daha küçük bir kozmolojik sabit değeri var oluşumuzun ortadan kalkmasının da ötesinde bir açıklama gerektirecekti. Yani fiziğin hep araştırıp durduğu, ancak başarılı olamadığı bir açıklamayı gerektirecek demekti. Weinberg bir gün yapılabilecek çok daha hassas ölçümlerle kozmolojik sabitin ortadan kalkmadığının, ancak hesapladığı sınırlara yakın ya da bu sınırların en üst noktasında bir değere sahip olduğunun belirleneceğini öne sürdü. Weinberg'in çalışmasının üzerinden on yıl bile geçmeden, gördüğümüz gibi, Süpernova Kozmoloji Projesi ve High-Z Süpernova Araştırma Ekibi tarafından yapılan gözlemler Weinberg'in düşüncelerinde ne kadar haklı olduğunu ortaya çıkardı.

Bu sıra dışı açıklamaları iyi anlayabilmek için Weinberg'in akıl yürütmelerine daha yakından bakmamız gerekir. Weinberg, içinde en azından bir evrenin yaşama elverişli değerde bir kozmolojik sabite sahip olduğu, çok çeşitli evrenlerin yer aldığı ve genişleyen bir çoklu evren tasavvur ediyordu. Ancak ne tür bir çoklu evren tüm bu koşulları garanti edecek ya da önemli ölçüde mümkün kılacaktı?

Bu konuyu ele alırken önce daha küçük sayılarla benzer bir problem üzerinde düşünelim. Diyelim ki aksi bir film yapımcısı olarak bilinen Harvey W. Einstein'la çalışıyorsunuz ve sizden yeni filminin başrol oyuncusunu bulabilmek için bir ilan vermenizi istedi. "Boyu ne kadar olsun?" diye soruyorsunuz. "Bilmiyorum, bir metreden uzun, iki metreden kısa olsun. Ama hangi boy uzunluğuna karar verirsem vereyim, bulacağın kişi benim istediğim gibi olsun." Kuantum belirsizliği nedeniyle, söylediği aralığa yayılmış ayrı *her bir* boydan örneğe ihtiyaç olmayacağını yönet-

mene söylemek istiyorsunuz ama daha önce ağzını açanlara neler yaptığını hatırlayıp vazgeçiyorsunuz.

Şimdi bir karar vermelisiniz. Değerlendirmeye kaç aktör almalısınız? Düşünüyorsunuz: Eğer W. boyları santim santim ölçecekse, bir metre ile iki metre arasında yüz farklı değer var. Bu nedenle, minimum aktör sayısı zaten en azından yüz olacaktır. Kaldı ki aynı boy uzunluğuna sahip aktörler de olabileceği için en iyisi aday sayısını yüzün üstüne çıkartın. Riske girmemek için de ilanınızda iki-üç yüz aktör çağırın. Bu sayı çok gibi gözükebilir ama ola ki W. herkesin boyunu milimetrik kesinlikte ölçerse, yetmez. Bu durumda, bir metre ile iki metre arasında bin ayrı olasılık olacaktır. İyisi mi siz birkaç bin aktör çağırın.

Aynı mantık, farklı kozmolojik sabitlere sahip evrenler için de geçerlidir. Diyelim ki bir çoklu evrendeki tüm evrenlerin kozmolojik sabit değerleri sıfırla bir arasında (bilinen Planck birimleri olarak) değişiyor; daha küçük kozmolojik sabit değerlerinde evrenler çökecek, daha büyük değerlerde ise matematiksel formülasyonun uygulanabilirlik sınırları zorlanmış olacak. Nasıl ki aktörlerin boyları bir metrelik değer aralığına sahipse, evrendeki olası kozmolojik sabitler de bir Planck birimlik bir değer aralığına sahiplerdir. W.'nin boyları santimetrik veya milimetrik hassasiyetle ölçmesine benzer biçimde, kozmolojik sabit değerini de aynı netlikte ölçmeye kalkabiliriz. Bugün bilinen doğruluk değeri 10^{-124} civarındadır (Planck birimiyle). Gelecekte, hiç kuşkusuz, bu ölçümün daha net biçimde saptanabilmesi mümkündür. Ancak, göreceğimiz gibi, bu değer sonuçlarımızı fazlaca etkilemeyecektir. Nasıl ki bir metrelik bir aralıkta birbirinden 10^{-2} uzaklıkla (1 santimetre) 10^2 farklı olasılık, 10^{-3} uzaklıkta (1 milimetre) 10^3 farklı olasılık varsa kozmolojik sabit içinde 0 ile 1 değerleri arasında 10^{-124} uzaklıkla en az 10^{124} farklı değer olasılığı bulunacaktır.

O halde, tüm olası kozmolojik sabit değerlerinin gerçekleşebilmesi için düşüneceğimiz çoklu evrenin içinde 10^{124} farklı evren bulunmalıdır. Ancak, aktörlerin sayılarını belirlerken olduğu gibi, aynı değerlere sahip evrenlerin de olabileceğini düşünmemiz gerekir. Bu durumda değerlendirmede riske girmemek

ve hiçbir olası kozmolojik sabit değerini atlamamak için çoklu evrenimizin içinde 10^{124}ten çok daha fazla, söz gelimi milyon kez daha fazla sayıda evren bulunmalı, yani toplam 10^{130}a getirilmelidir. Bu denli devasa sayılardan söz etmeye başlayınca sayıların tam değerleri artık çok da önem taşımaz. Bu sayılar öylesine büyük sayılardır ki bilinen hiçbir örnek –ne vücudunuzdaki hücrelerin sayısı (10^{13}), ne büyük patlamadan bu yana geçen saniyeler (10^{18}), ne de evrenin gözlenebilir bölümündeki fotonların sayısı (10^{88})– bu sayıya yaklaşamaz. Sonuç olarak, Weinberg'in kozmolojik sabiti açıklama yaklaşımı, ancak içinde muazzam sayıda evrenlerin yer aldığı ve kozmolojik sabitin 10^{124} farklı değer gösterdiği bir çoklu evren yapılanmasında geçerli olabilir. Ancak bu kadar çok sayıda farklı evren bulunması halinde kozmolojik sabiti bizimkine uygun bir evrenin olması olasıdır.

Peki, gerçekten bu kadar muazzam sayıda ve değişik kozmolojik sabitlerin bulunduğu evrenlerin varlığını öne süren kuramsal açıklamalar var mıdır?[14]

Kusurdan Meziyete

Evet, var. Bu türden bir kuramsal çerçeveye bir önceki bölümde değinmiştik. Sicim kuramı kapsamında ekstra boyutların olası farklı biçimleri, içlerinden geçen akıları da ilave edersek, 10^{500} gibi bir sayıya ulaşıyordu. Bu sayının yanında 10^{124} cüce gibi kalmaktadır. 10^{124}ü 10'un birkaç yüz katı ile çarpın, 10^{500} yanında yine ufak bir sayıdır. 10^{124}ü 10^{500}den çıkartın, kalan sayıdan yine çıkartın, sonra tekrar kalan sayıdan çıkartın, bunu milyar kere tekrarlayın, çok az bir fark oluşacaktır. Kalan sayı yine de 10^{500}e yakın olacaktır.

Önemli olan nokta şu ki kozmolojik sabitin değeri gerçekten de bir evrenden öbürüne farklılık gösterir. Manyetik akının enerji taşıması gibi (manyetik akı nesneleri hareket ettirebilir), Calabi-Yau şekillerindeki deliklerden geçen akıların da enerjisi vardır. Bu enerjinin miktarı şeklin geometrik özelliklerine karşı son derece hassastır. İki farklı Calabi-Yau şeklinin farklı deliklerinden geçen farklı akıların enerjileri de genellikle farklı olacak-

tır. Geniş bir halıdaki ilmeklerin halının her bir noktasına bağlanması gibi, belli bir Calabi-Yau şekli de bildiğimiz üç geniş boyutlu uzayın her noktasına bağlanmış olduğu için tıpkı halının her bir düğümünü ıslattığınızda halının altı her tarafından nasıl ağırlaşırsa, Calabi-Yau şeklindeki enerji de uzayın üç boyutunu aynı tarzda doldurur. Bu nedenle, 10^{500} farklı süslenmiş Calabi-Yau şeklinden biri ya da öteki gereken ekstra boyutları meydana getiriyorsa, bu şeklin taşıdığı enerji de *kozmolojik sabitin değerine katkı verecektir*. Raphael Bousso ve Joe Polchinski'nin elde ettiği sonuçlar, bu gözlemi sayısal olarak da desteklemektedir. Bousso ve Polchinski'ye göre, ekstra boyutlar için 10^{500} ya da bu civarda olası şeklin sağladığı çeşitli kozmolojik sabitlerin çok geniş bir değer dağılımı olacaktır.

Bize gereken de budur. 10^{500} farklı şekil için 0 ila 1 aralığında değişen değerlerin bulunması, birçok şeklin son on yıl içinde gökbilimcilerin ölçmüş oldukları kozmolojik sabit değerine çok yakın değerler taşımasını garantiler. 10^{500} farklı olasılık arasından net örnekleri göstermek zor olabilir çünkü günümüzdeki en hızlı bilgisayarlar için ekstra boyutlardaki her bir şeklin incelenmesi sadece tek bir saniye alsa bile, günümüzden ancak bir milyar yıl sonra ancak 10^{32} örneğin incelenmesi tamamlanabilir. Yine de bu, destekleyici bir bakış açısı oluşturmaktadır.

Gerçekten de ekstra boyutlar için 10^{500} olası farklı şekilden söz etmek, sicim kuramının bizi getirebileceğini düşündüğünüz tek evren kavramından çok uzak kalmaktadır. Einstein'ın tek evren –bizim evrenimiz– modelini tanımlayacak birleşik bir kuram bulma hayalini destekleyenler arasında söz edilen fikirler ciddi bir rahatsızlık yaratmıştır. Ne var ki kozmolojik sabitin incelenmesi konuya çok farklı bir boyut da getirmiştir. Sözü edilen türde çok özel bir evrenin varlığını ispatlamak mümkün olmasa da memnuniyet verici şöyle bir şeyden söz edilebilir: Weinberg'in kozmolojik sabit konusunda söyledikleri içinde akla en az yatkın gözükeni, yani 10^{124} ten fazla farklı evrenin olması gerekliliği, sicim kuramı kapsamında birden akla yatkın bir nitelik kazanmıştır.

Özetle Son Adım

İlginç öykünün parçaları artık yavaş yavaş bir araya geliyor. Ancak mantık silsilesinde hâlâ bir boşluk olduğu söylenebilir. Sicim kuramı kapsamında muazzam sayıda farklı evrenlerden söz edilebilmesi bir şeydir. Sicim kuramının öngördüğü olası tüm evrenlerin, yani geniş bir çoklu evrende bulunan paralel dünyaların var olduğunu iddia etmek ayrı bir şeydir. Shamit Kachru, Renata Kallosh, Andrei Linde ve Sandip Trivedi'nin öncü çalışmasından etkilenen Leonard Susskind'in üstüne basa basa vurguladığı üzere, eğer bu resmin içine sonsuz şişmeyi ilave edersek boşluk doldurulabilir.[15]

Şimdi bu son adımı açıklayacağım; ama doyum noktasına ulaşmış ve sadede gelmemi istiyor olma ihtimalinize karşılık, işte size üç cümlelik bir özet: Şişme Evreli Çoklu Evrende –durmaksızın genişleyen gravyer peyniri benzeri kozmosta– çok fazla ve durmadan artan sayıda baloncuk evren bulunmaktadır. Şişme kozmolojisi ile sicim kuramı birleştirildiği zaman, ebedi şişme süreci, sicim kuramının baloncuk evrenlerdeki ekstra boyutlar için tanımladığı 10^{500} olası biçimi baloncuklara dağıtmaktadır – her baloncuk evrendeki ekstra boyutlar için bir biçim. Bu da tüm olasılıkların gerçekleşebileceği bir kozmolojik çerçeve demektir. Bu çerçeveden bakarsak, bizim yaşam biçimimize ev sahipliği yapabilecek ve gözlemlerimizle uyumlu, kozmolojik sabiti ve benzeri nitelikleriyle bir evren meydana getiren ekstra boyutlara sahip bir tür baloncuk içinde yaşadığımız söylenebilir.

Bu bölümün geri kalan kısmında bunu ayrıntılı olarak anlatacağım ama bu kısımları atlamak isterseniz, bölümün en son kısmına geçebilirsiniz.

Sicim Manzarası

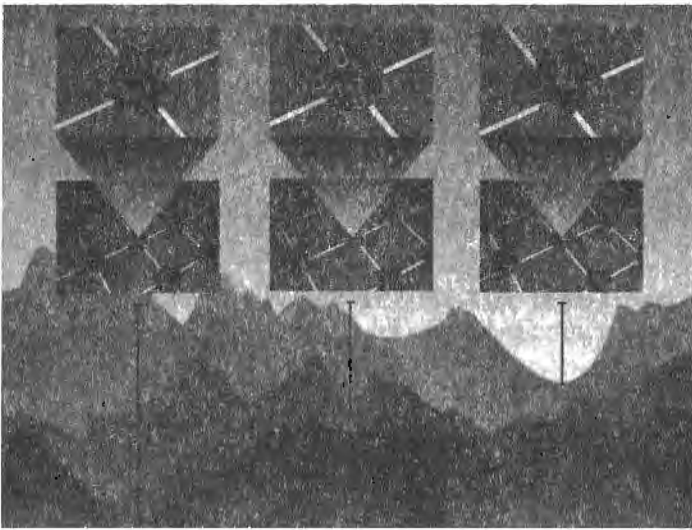
III. Bölüm'de şişme kozmolojisini açıklarken bilinen bir benzetmeden yararlanmıştım. Bir dağın zirvesi, uzayı saran inflaton alanındaki en yüksek enerji değerini temsil ediyordu. Dağın bu zirvesinden aşağıya doğru yuvarlanıp artık durduğu nokta ise inflatonun bu enerjiyi boşalttığı noktayı temsil etmektey-

di. Enerji, geçirdiği bu süreç içinde madde ve ışınım parçacıklarına dönüşüyordu.

Şimdi bu benzetmenin üç özelliğine tekrar bakalım ve şu ana kadar edindiğimiz bilgiler ışığında yeniden değerlendirelim. Öğrendiğimiz birinci şey, inflaton alanının uzayı dolduran yegâne enerji kaynağı olmadığıydı; diğer enerji katkıları alanlardaki kuantum titremelerinden –elektromanyetik, nükleer vb.– gelmekteydi. Benzetmemizi bu bilgi ışığında gözden geçirecek olursak, dağın yüksekliği tüm kaynaklardan gelen ve uzayı dolduran birleşik enerji anlamına gelecektir.

İkinci olarak, ilk benzetmemizde dağın etekleri, yani inflatonun durgun hale geldiği yer, "deniz seviyesi" olarak yüksekliğin sıfır olduğu nokta, inflatonun tüm enerjisini (ve basıncı) boşalttığı nokta olduğu öngörülmekteydi. Yenilenmiş benzetmede, dağın etekleri, tüm kaynaklardan gelip uzayı dolduran birleşik enerjinin şişme evresi dindikten sonraki durumunu temsil etmektedir. Bu, baloncuk evrenin kozmolojik sabiti anlamına gelir. Kozmolojik sabiti açıklamak şimdi dağın eteklerinin yüksekliğini açıklamak demekti: Peki, neden kozmolojik sabit "deniz seviyesi"nde değil de ona çok yakın bir düzeydedir?

Son olarak, ilk dağ benzetmemizde tek bir zirveden ve inflatonun gelip durduğu eteklerinden söz ettik (bkz. Şekil 3.1, sayfa 68). Sonra bir adım öteye geçip evrimleri ve dinginleştikleri son noktaları baloncuk evrenlerin fiziksel özelliklerinde izlenebilen diğer alanları da (Higgs alanları) dikkate aldık (bkz. Şekil 3.6, sayfa 84). Sicim kuramında olası evrenlerin sayısı çok daha fazladır. Ekstra boyutların şekilleri belli bir baloncuk evrenin fiziksel özelliklerini belirler. İşte, olası "dinme noktaları", yani Şekil 3.6b'deki vadiler ekstra boyutların alabileceği biçimleri temsil etmektedir. Bu boyutların 10^{500} olası ekstra boyut biçimini barındırmak için, Şekil 6.4'te gösterildiği gibi, dağlık bölgede vadilerin, kayalıkların ve kaya çıkıntılarının bulunması gerekir. Dağlık bölgede düşen bir topun gelip durabileceği herhangi bir yer, ekstra boyutların dinlendiği o bölgenin yüksekliği ise o baloncuk evrenin kozmolojik sabi-



Şekil 6.4 Sicim manzarası dağlık bir bölge gibi resmedilebilir. Bu bölgedeki değişik vadiler ekstra boyutların farklı biçimlerini, yükseklik ise kozmolojik sabitin değerini temsil etmektedir.

tini temsil edecektir. Şekil 6.4 *sicim manzarası* denilen görünümü göstermektedir.

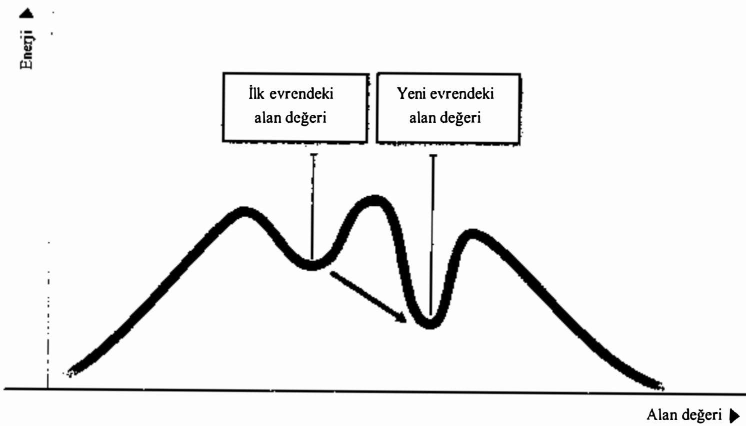
Dağ benzetmesini –ya da manzarayı– bu biçimde açıkladıktan sonra, şimdi kuantum süreçlerinin bu ortamda ekstra boyutları nasıl etkilediğine bakalım. Göreceğimiz gibi, kuantum mekaniği bu manzarayı aydınlatmaktadır.

Manzarada Kuantum Tünelleme

Şekil 6.4 ister istemez şematik olduğu halde (Şekil 3.6'daki değişik Higgs alanlarının her birinin kendi ekseni bulunmaktadır; benzer biçimde, Calabi-Yau şeklini delebilen yaklaşık 500 farklı alan akısının her birinin de kendi eksenleri vardır –ne var ki 500 boyutlu bir uzayda dağ çizebilmek zordur.), farklı biçimlerdeki ekstra boyutlu evrenlerin bağlantılı bir arazinin parçaları olduğunu doğru bir biçimde temsil etmektedir.[16] Efsanevi fizikçi Sidney Coleman'ın Frank De Luccia ile birlikte sicim kuramından bağımsız olarak yürüttüğü çalışmaların sonuçları kullanılarak kuantum fiziği dikkate alındığında, evrenler arasındaki bağlantılar çarpıcı dönüşümlere yol açmaktadır.

Bunun temelinde yatan fizik, *kuantum tünelleme* olarak adlandırılan bir sürece dayanmaktadır. Önünde katı bir engelle, söz gelimi 3 metre kalınlığında çelik bir levhayla karşılaşan bir parçacığı, örneğin bir elektronu düşünün. Klasik fiziğe göre elektron bu engeli aşamaz. Kuantum mekaniği, klasik fiziğin "bu engeli asla aşamaz" dediği yerde, "bu engelin içinden geçebilme olasılığı küçük de olsa sıfır değildir" demektedir. Bunun nedeni, parçacığın kuantum titremelerinin arada sırada bu parçacığın engelin öteki tarafında bir anda belirmesini mümkün kılmasıdır. Bu tür kuantum tünellemelerinin gerçekleştiği anlar rastlantısaldır. Bizim yapabileceğimiz en iyi şey ise bunun hangi zaman aralığında gerçekleşme olasılığı olduğu konusunda tahmin yürütmektir. Fakat matematik der ki eğer yeterince uzun bir süre beklersek, parçacığın herhangi bir engelden geçişini yakalayabilmemiz mümkündür. Gerçekten de böyle olur. Böyle olmasaydı, Güneş'in de parlaması mümkün olamazdı çünkü hidrojen çekirdeklerinin füzyon reaksiyonuna girmesi için bu çekirdeklerin protonlarının elektromanyetik itme kuvvetiyle oluşan engelin içinden tünellemesi gerekir.

Coleman ve De Luccia'nın yanı sıra o zamandan beri onların yolundan gidenler de kuantum tünelleme etkisini tek parçacık örneklerinden yola çıkıp bir düzenden diğerine geçebilme sorunu ile karşı karşıya olan tüm evrene uyarlamışlardır. Elde ettikleri sonuçları anlayabilmek için barındırdıkları alan haricinde birbiriyle aynı iki ayrı evren düşünelim. Bu alan her ikisini de eşit biçimde doldursun, ancak birindeki enerji daha yüksek, diğerindeki enerji daha düşük olsun. Aralarında bir engel olmadığı durumda, daha yüksek olan enerji-alan değeri, tıpkı şişme evreli kozmolojide sözünü ettiğimiz dağın zirvesinden aşağıya yuvarlanan top gibi, düşük olana doğru akacaktır. Şekil 6.5'te görüldüğü gibi, eğer alan enerjisi eğrisinin dağ benzeri bir tümseği varsa ve bu tümsek alanın şu anki değerini ulaşmak istediği diğer değerden ayırırsa ne olur? Coleman ve De Luccia, parçacık örneğinde olduğu gibi, evrenin klasik fiziğin mümkün görmediği şeyi başarabildiğini, diğer bir deyişle, oluşan engelin içinden –



Şekil 6.5 İki çukurlu (veya vadili) bir alan enerji eğrisi örneği. Bu çukurlarda alan doğal olarak durgun hale geçer. Yüksek alan enerjisi değeriyle dolan bir evren daha düşük değerli alana doğru kuantum tünellemesi yapabilir. Süreç, ilk evrende düşük alan değerli küçük, rastgele konumlanmış bir uzay bölgesinin düşük olan alan değerini almasını, daha sonra bu bölgenin genişleyerek yüksek enerjili daha geniş bir alanı düşük değerli bir bölgeye dönüştürmesini içerir.

bir kuantum tünellemeyle– geçebileceğini ve düşük enerjili düzene ulaşabileceğini belirtmişlerdir.

Bir tek parçacıktan değil koskoca bir evrenden söz ettiğimiz için, burada tünelleme işlemi daha karmaşıktır. Coleman ve De Luccia'ya göre, alanın değeri söz konusu engeli uzayın her tarafında aynı anda geçmez. Bir tür "çekirdek" tünelleme olayı küçük, rastgele bir baloncuk yaratır ve bu baloncuk diğer alanın daha düşük değerli enerjisiyle dolar. Baloncuk daha sonra, alanın içine tünellediği düşük enerjili bölgeyi daha da genişletecek biçimde giderek büyür.

Bu süreç doğrudan sicim manzarasına uygulanabilir. Düşünün ki evrenin, Şekil 6.6a'da yer alan soldaki vadi ile temsil edildiği gibi, belli bir ekstra boyut biçimi var. Bu vadinin yüksek irtifada olması nedeniyle, bildiğimiz üç boyuta güçlü bir itici kütleçekimine neden olan yüksek bir kozmolojik sabit yayılmıştır; bu nedenle de evren hızla şişmektedir. Ekstra boyutlarıyla birlikte bu genişleyen evren, Şekil 6.6b'nin sol tarafında gösterilmektedir. Daha sonra, rastgele bir yerde ve zamanda, uzayın minik bir kısmı araya giren dağın içinden tünelleme ile Şekil 6.6a'nın

sağ tarafında gösterilen vadiye tünelleme yapar. Bu minik bölge hareket etmemiştir (her ne anlamda yorumlanırsa); daha ziyade ekstra boyutların bu minik bölge içindeki biçimi (şekil, boyut, taşıdıkları akı) değişir. Bu ufak bölgedeki ekstra boyutlar, Şekil 6.6a'da sağdaki vadinin biçimine benzeyecek tarzda biçim değiştirirler. Bu yeni baloncuk evren, Şekil 6.6b'de gösterildiği gibi, asıl evrenin içinde yerini alır.

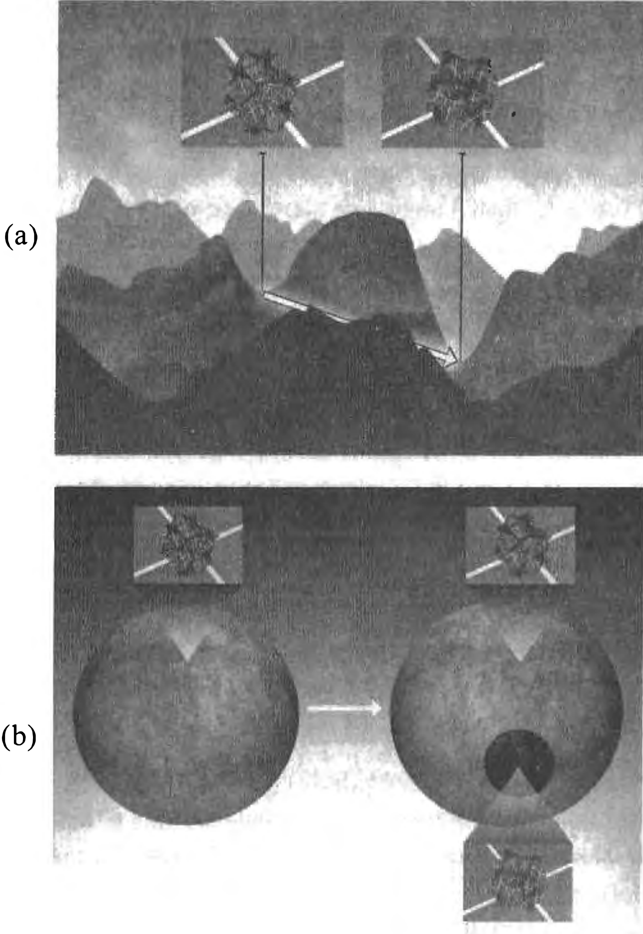
Bu yeni evren hızlı bir biçimde genişleyecek ve yayıldıkça da ekstra boyutları değiştirmeye devam edecektir. Ancak yeni evrenin kozmolojik sabiti azaldığı için –manzara içindeki irtifası asıl evreninkine göre daha düşüktür– itici kütleçekimi kuvveti de daha zayıftır ve bu nedenle de asıl evrenin genişlediği kadar hızlı biçimde genişlemez. Böylece ilk biçimdeki ekstra boyutlara sahip ve durmadan genişlemekte olan bir baloncuk evrenin içinde yeni biçimde ekstra boyutları olan ve genişleyen bir baloncuk evren yer almış olur.[17]

Bu süreç tekrarlayabilir. Gerek asıl evrenin gerekse sonradan meydana gelen yeni evrenin içindeki diğer bölgelerde başka tünelleme olayları yeni baloncukların ortaya çıkmasına ve değişik biçimlerde ekstra boyutların oluşmasına neden olurlar (Şekil 6.7). Bu süreçte uzayın engin alanı iç içe geçmiş baloncuklarla –her biri şişmesel genişleme geçiren, her biri farklı biçimde ekstra boyutlara sahip olan, yine her biri içinde yer aldığı baloncuk evreninkinden daha küçük bir kozmolojik sabiti olan– âdeta delik deşik hale gelecektir.

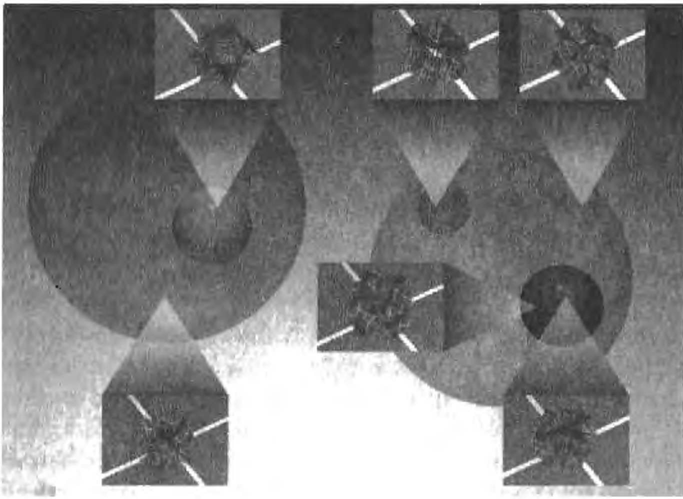
Sonuç, sonsuz şişme ile daha önceki karşılaşmamızda keşfettiğimiz gravyer peyniri benzeri bir çoklu evrenin daha karmaşık bir versiyonudur. O versiyonda iki bölge tipinden söz etmiştik: şişmesel genişlemeden geçen "peynirimsi" bölgeler ve böyle bir süreçten geçmeyen "delikler". Bu, etekleri deniz seviyesinde olduğunu düşündüğümüz bir dağın yer aldığı basit bir manzarayla ilgili söylenebilecekler. Şekil 6.7'de gösterildiği gibi, sicim kuramı manzarasında farklı kozmolojik sabit değerlerini temsil eden çeşitli zirveleri ve vadileriyle çok çeşitli bölgeler oluşacaktır –matruşka bebekleri gibi iç içe geçmiş ve her biri sanki farklı bir

sanatçı tarafından renklendirilmiş baloncuklar. Sonuçta, dağlık sicim manzarası içinde gerçekleşen çok sayıda kuantum tünellemesi şu ya da bu baloncuk evrende ekstra boyutlar için uygun biçimleri yaratırlar. İşte *Manzara Çoklu Evreni* budur.

Manzara Çoklu Evreni, Weinberg'in kozmolojik sabit açıklamalarına her açıdan uygunluk göstermektedir. Daha önce de belirttiğimiz gibi, bir sicim manzarasında, gözlenen değerin civarlarında kozmolojik sabite sahip olabilecek ekstra boyutlar için



Şekil 6.6 (a) Sicim manzarası içinde bir kuantum tünelleme olayı. **(b)** Tünelleme, küçük bir uzay bölgesi yaratır –küçük ve koyu renkteki baloncukla gösterilen kısım– ve bu bölge içerisindeki ekstra boyutlar biçim değişikliğine uğrar.



Şekil 6.7 Tünelleme süreci tekrarlandıkça her biri farklı biçimlerde ekstra boyutları bulunan, çok sayıda iç içe geçmiş ve genişleyen baloncuk evrenler ortaya çıkar.

olası biçimler bulunmaktadır: Sicim manzarası içinde irtifası çok düşük olan ama değeri sıfır olmasa da süpernova gözlemlerinin ortaya koyduğu biçimde çok küçük olan kozmolojik sabitle uyuşan vadiler bulunmaktadır. Sicim manzarası, ebedi şişme ile birleştiği zaman en küçük değerdeki kozmolojik sabit de dahil olmak üzere, ekstra boyutlar için bütün olası biçimler varlık bulur. Manzara Çoklu Evreni'ni oluşturan iç içe girmiş baloncuklar dizisinin bir yerlerinde, kozmolojik sabiti bu bölümün başında bahsettiğimiz o küçük sayı kadar, diğer bir deyişle 10^{-123} civarında olan evrenler vardır. Bu düşünce çizgisinden hareket edersek, yaşadığımız evren de işte bu baloncuklardan bir tanesidir.

Ya Fiziğin Geri Kalanı?

Kozmolojik sabit, yaşadığımız evrene ait özelliklerden sadece bir tanesidir. Fakat ölçülen küçük değeri, yerleşik kuramı kullanan en basit öngörülerle çeliştiği için son derece tartışmalı konulardan biri haline gelmiştir. Bu nedenle, kozmolojik sabit kendi başına bir konu olarak önem taşımakta ve ne kadar egzotik olursa olsun açıklayıcı bir çerçevenin bir an evvel bulunması gerekmektedir. Yukarıda açıkladığımız düşünce silsilesinin savu-

nucuları, sicim çoklu evreninin bu açıklayıcı çerçeveyi sunduğunu öne sürmektedirler.

Peki, evrenimizin geri kalan diğer özellikleri –üç tür nötrinonun varlığı, elektronun kütlesinin değeri, zayıf nükleer kuvvetin gücü vb.– nasıldır? Bu değerleri hesaplayıp öngörülerde bulunmayı tahayyül etsek de henüz hiç kimse bunu başaramadı. Kaldı ki bu değerlerle çoklu evren temelli açıklamaların ne kadar uyumlu olduklarını da merak edebilirsiniz. Gerçekten de sicim manzarası üzerine çalışan araştırmacılar, tıpkı kozmolojik sabit gibi bu türden değerlerin de bir yerden öbürüne farklılık gösterdiğini ve bu yüzden –en azından sicim kuramı çerçevesindeki şu andaki bilgilerimize dayanarak– tek bir şekilde belirlenmediğini ifade etmektedirler. Bu durum, konu üzerindeki araştırmaların ilk dönemlerindeki bakış açısından çok farklı bir bakış açısının doğmasına neden olmuştur. Bu bakış açısına göre, temel parçacıkların özelliklerini hesaplamak, tıpkı dünya ile güneş arasındaki uzaklığın nedenini açıklamaya çalışmak gibi, yanılgıya götüren bir yaklaşım olabilir. Gezegenler arasındaki uzaklıkta olduğu gibi, bu özelliklerin bir kısmı ya da tümü bir evrenden ötekine değişiyor olabilir.

Bu düşüncenin geçerli olabilmesi için yalnızca doğru miktarda kozmolojik sabite sahip baloncuk evrenlerin bulunduğunu değil, bu evrenlerin bir tanesinde bilim insanlarının evrenimizle ilgili yaptıkları kuvvet ve parçacıklarla ilgili ölçüm sonuçlarını yansıtan en az bir tane baloncuk evren bulunduğunu da bilmemiz gerekmektedir. Tüm ayrıntılarıyla evrenimizin bu manzaranın bir bölgesinde yer aldığından emin olmamız gerekmektedir. Bu da *sicim modelleri kurulması* adı verilen heyecanlı bir alanın temel amacıdır. Bu alandaki araştırmalar, sicim manzarası içinde ekstra boyutlar için uygun biçimleri matematiksel olarak inceleyerek bizimkine en çok benzeyen evrenleri bulmaya çalışmaktadır. Bu gerçekten zorlu bir amaçtır çünkü söz konusu manzara o kadar geniştir ki üzerinde sistematik olarak ayrıntılı incelemeler yürütmek kolay değildir. İlerlemenin sağlanabilmesi hem hassas hesaplama becerilerine hem de hangi parçaların –ekstra boyut-

ların şekli, büyüklüğü, alan akıları, değişik zar evrenlerin varlığı vb.– bir arada ele alınması gerektiğine yön verecek doğru sezgilere bağlıdır. Araştırmalarını bu bakış açısıyla yürütenler, hassas bilimsel verileri sanatsal bir duyarlılıkla birleştirmeye çalışmaktadır. Şu ana kadar kimse tamamen kendi evrenimizin özelliklerine sahip bir örnek bulabilmiş değildir. Ancak keşfedilmeyi bekleyen 10^{500} farklı olasılığı düşünürsek, manzara çoklu evreni içinde bizim evrenimizin de özelliklerinin saptanacağı bir noktanın keşfedileceğine inanılmaktadır.

Bu Bilim Midir?

Bu bölümde mantıksal açıdan kritik bir noktayı ele aldık. Şu ana kadar, temel fizik ve kozmoloji araştırmalarındaki çeşitli gelişmelerin gerçeklik üzerindeki muhtemel etkilerini inceledik. Uzayın çok uzak köşelerinde bir yerlerde dünyanın kopyalarının olabileceği, evrenimizin şişen bir kozmostaki birçok baloncuktan biri olabileceği ya da bir arada muazzam bir yapı oluşturan çok sayıdaki zar evrenlerden birinde yaşadığımız düşüncesi hoşuma gidiyor. Hepsi de yadsınamaz şekilde etkileyici ve çekici fikirler.

Fakat Manzara Çoklu Evreni ile paralel evrenler konusuna farklı bir yoldan yaklaşıyoruz. Ele aldığımız yaklaşımda Manzara Çoklu Evreni yalnızca uzayda nelerin nasıl olduğu konusunda bakış açılarımızı genişletmekle kalmıyor. Gitmemiz, görmemiz ya da etkisini hissetmemiz şu anda mümkün olmayan ve belki de asla mümkün olmayacak paralel evrenlere burada, bu evrende yaptığımız gözlemlere ışık tutmak için başvuruyoruz.

Bu da şöyle önemli bir soruyu akla getiriyor: Peki bu bilim midir?

VII. Bölüm

Bilim ve Çoklu Evren

Çıkarım, Açıklama ve Öngörü Üzerine

2004 Nobel fizik ödülü ortaklarından biri olan David Gross'un sicim kuramının Manzara Çoklu Evren anlayışına karşı çıkarken Winston Churchill'in 29 Ekim 1941 tarihli sözlerini tekrar etmesi oldukça muhtemeldir: "Asla pes etmeyin... Asla, asla, asla, asla –önemli ya da önemsiz, küçük ya da büyük, hiçbir şey karşısında– asla pes etmeyin." Princeton Üniversitesi'nde Albert Einstein Bilim Profesörü olan Paul Steinhardt şişme kozmolojisinin modern biçimini geliştirenlerden biridir. Steinhardt, Manzara Çoklu Evreni'nden hazzetmediğini dile getirirken tumturaklı sözleri daha azdır, ama bir noktada din ile bir kıyaslama –menfi bir kıyaslama– yapılacağından emin olabilirsiniz. İngiltere Kraliyet Gökbilimcisi Martin Rees, çoklu evren kavramını var olan her şeyi anlamaya yönelik derinleşen kavrayışımızın bir sonraki adımı olarak görmektedir. Leonard Susskind ise çoklu evrenin bir parçası olma olasılığımızı göz ardı edenlerin gözlerini aslında çok

önemli bir gerçekten kaçırdıklarını belirtmektedir. Bunlar örneklerin yalnızca bir kısmıdır. Her iki cepheden de şiddetli biçimde karşı çıkanlardan coşkuyla savunanlara kadar daha pek çok örnek verilebilir ve bu görüşler her zaman böyle düzgün bir dille ifade edilmezler.

Son yirmi beş yıldır sicim kuramı üzerinde çalışmaktayım. Sicim kuramının manzara ve çoklu evren yaklaşımı konusunda yaşanan tartışmaların başka hiçbir konuda bu denli ateşli yaşandığını, kullanılan dilin bu denli sivrileştiğini hiç görmedim. Nedeni gayet açıktır. Pek çokları için bu gibi gelişmeler bilimin ruhu için bir savaş alanı gibidir.

Bilimin Ruhu

Manzara Çoklu Evreni tartışmaların çıkış noktasını oluştururken ortaya atılan savlar hep çoklu evrene yer veren kuramlar etrafında yoğunlaşmaktadır. Erişilmesi yalnızca pratik olarak değil, ilkesel açıdan da mümkün olmayan bölgeler üzerine konuşmak bilimsel olarak haklı görülebilir mi? Çoklu evren düşüncesinin doğruluğu ya da yanlışlığı test edilebilir mi? Peki böyle bir çoklu evren yaklaşımını kullanmak açıklayıcı bir güç sağlamakta mıdır? Bu yaklaşımı kullanmasak bazı bilgilerden yoksun mu olurduk?

Bu sorulara yanıtınız, karşı çıkanların ısrarla belirttiği gibi "hayır" ise çoklu evren düşüncesini savunanların boşa kürek çektiğine inanıyorsunuz demektir. Test edilemeyen, yanlışlığı kanıtlanamayan öneriler, erişme şansımız olmayan saklı bölgeler –bunlar çoğumuzun bilim olarak tanımlayacağı şeyden çok uzaktır. İşte tutkuları alevlendirecek kıvılcımlar da buradadır. Konuyu savunanlar şöyle demektedir: Belli bir çoklu evren üzerine yapılabilecek gözlemler alışık olduklarımızdan farklı olsa da –çok daha dolaylı, çok daha örtük, gelecek deneylerle ışık tutulması açısından işi daha fazla şansa kalmış vb.– tüm bu çabaların tamamen boş olduğu da söylenemez. Aksine, ortaya atılan kuramların ve yapılan gözlemlerin bizi nerelere taşıyacağına, tahminlerin nasıl gerçekleştirileceğine yönelik geniş kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadırlar.

Çoklu evren konusunun hangi özelliği üzerinde yoğunlaşacağınız aynı zamanda bilimin esas amacının ne olduğuna dair görüşünüze bağlıdır. Genel düzeydeki tanımlamalar, bilimin amacının evrenin işleyişindeki düzenli kuralları bulmak, bunların ilgili doğa yasalarını nasıl yansıttıklarını açıklamak ve ortaya atılan yasaları sonraki deneyler ve gözlemlerle doğrulanacak ya da çürütülecek öngörüler yaparak sınamak olduğunu vurgular. Bu tanım akla yatkın olsa da gerçek bilimsel sürecin aslında çok daha karmaşık olduğunu, doğru soruları sormanın, sorulanlara yanıt bulmak ya da ortaya atılan yanıtların doğruluğunu kanıtlamak kadar önemli olduğunu gözden kaçırmaktadır. Ayrıca, soruların başka bir yerlerde istiflenmiş olduğunu, bilimin oradan soruları tek tek seçmek gibi bir rolü olduğunu söyleyemeyiz. Bugün sorabildiğimiz sorular dünün kavrayışlarıyla şekillenir. Bilimdeki yeni buluşlar, bazı sorulara yanıt sağlamanın ötesinde, o zamana kadar akla hiç gelmemiş soruları sormaya sebep olur. Çoklu evren kuramları da dahil olmak üzere, herhangi bir bilimsel gelişmeyi değerlendirirken yalnızca saklı hakikatleri açıklama kapasitesine değil, cevaplamaya çalıştığımız sorular üzerindeki etkisine de bakmalıyız. Yani bu etki aslında tam da bilimin icrası üzerindeki etkisidir. İleride açıklığa kavuşacağı gibi, çoklu evren kuramları bilimin uzun yıllardır sormakta olduğu karmaşık soruları yeniden şekillendirme kapasitesine sahiptir. Bu, bazılarına umut veren bazılarını ise öfkelendiren bir bakış açısıdır.

Durumu böylece özetledikten sonra, şimdi, yaşadığımız evrenin diğer birçok evrenden sadece biri olduğunu ileri süren bakış açılarının meşruiyetine, sınanabilirliğine ve yararlarına sistematik bir biçimde bakalım.

Erişilebilir Çoklu Evrenler

Çoklu evrenler konusunda tam bir görüş birliği sağlanması zordur. Bunun nedeni kısmen çoklu evren kavramının tek bir karşılığı olmamasıdır. Şu ana kadar beş versiyonu ele aldık –Kapitone Çoklu Evren, Şişme Evreli Çoklu Evren, Zar Çoklu Evreni, Döngüsel Çoklu Evren ve Manzara Çoklu Evreni. Takip

eden bölümlerde dört versiyon daha göreceğiz. Anlaşılır bir şekilde, *genel* çoklu evren fikrinin sınanabilirliğin ötesinde kalmak gibi bir ünü var. Sonuçta, kendi evrenimizin dışındaki evrenler hakkında fikir yürütüyoruz. Erişebildiğimiz tek evren de kendi evrenimiz olduğu için, bilinmeyenlerden bahsedince hayaletlerden bahsetmiş gibi oluyoruz. Aslında sorun burada yatıyor. Ne var ki biraz sonra ele alacağımız gibi, şunu da aklımızdan çıkarmamamız gerekir: Bazı çoklu evrenler kendi içindeki evrenler arasında etkileşime izin verirler. Zar Çoklu Evreni modelinde gördüğümüz gibi, bir zara bağlı olmayan kapalı (halka şeklinde) sicimler bir zardan öbürüne gidip gelebilirler. Şişme Evreli Çoklu Evren modelinde de baloncuk evrenler birbirleriyle çok daha doğrudan etkileşimde bulunabilirler.

Şişme Evreli Çoklu Evren modelinde iki baloncuk evren arasındaki uzayın, enerjisi ve negatif basıncı yüksek olan inflaton alanı ile kaplı olduğunu ve dolayısıyla şişme nedeniyle nasıl genişlediğini hatırlayın. Bu genişleme baloncuk evrenlerin de birbirlerinden uzaklaşması anlamına gelir. Böyle de olsa, baloncuk evrenlerin kendi genişleme hızı, genişleyen uzayın onları birbirlerinden uzaklaştırdığı hızı geçerse, baloncuklar çarpışacaktır. Şişmesel genişlemenin eklenerek artan bir genişleme olduğunu düşündüğümüzde –iki baloncuk evren arasındaki genişlemekte olan uzay alanı ne kadar fazlaysa, birbirlerinden o kadar hızlı uzaklaşırlar– ilginç bir sonuca ulaşırız. Eğer iki baloncuk evren birbirlerine *gerçekten* çok yakın mesafede oluşmuşlarsa, aralarındaki uzay alanı da son derece az olacak, bu nedenle birbirlerinden uzaklaşma hızları genişleme oranlarına göre çok daha yavaş olacaktır. Bu da iki baloncuğun birbirleriyle çarpışmalarını kaçınılmaz kılacaktır.

Bu mantık, matematiksel hesaplamaların sonucudur. Bir Şişme Evreli Çoklu Evren'de evrenler çarpışabilir. Dahası, bir grup araştırmacının (Jaume Garriga, Alan Guth, ve Alexander Vilenkin; Ben Freivogel, Matthew Kleban, Alberto Nicolis ve Kris Sigurdson; Anthony Aguirre ve Matthew Johnson) belirtmiş olduğu gibi, bazı çarpışmalar her bir baloncuk evrenin iç

yapısını ciddi biçimde bozacak olsa bile –bizler gibi, baloncukta yaşadığı öngörülebilecek canlılar için pek de iyi bir şey sayılmaz– daha hafif çarpışmalar bu kadar büyük felakete yol açmayacaktır ve gözlenebilir izler bırakan yeni yapılanmalar ortaya çıkacaktır. Hesaplamalara göre, bir başka evrenle böylesi küçük çaplı bir çarpışmaya maruz kalsak, çarpışma sonucunda uzaya şok dalgaları yayılacak, mikrodalga fon ışınımı içindeki sıcak ve soğuk bölge düzenlerinde değişiklikler meydana gelecektir.[1] Araştırmacılar şimdi böylesi bir çarpışmanın ardında bırakmış olabileceği izleri arıyorlar. Evrenimizle çarpışmış olabilecek, uzayda bir yerlerde bulunan diğer evrenlere dair kanıtların günün birinde bulunmasını sağlayacak gözlem ortamlarını hazırlamaya çalışıyorlar.

Gelecek, birçok heyecan verici olasılığa açık olsa da bir başka evrenle etkileşimin ya da çarpışmanın olduğuna ilişkin sınanabilir kanıtlar elde edilemezse ne olacaktır? Biraz daha gerçekçi bir açıdan bakarsak, gözlem ve deney yoluyla diğer evrenlere dair hiçbir iz bulamazsak, o zaman çoklu evren kavramı nerede duracaktır?

Bilim ve Erişilemeyen I:
Gözlemlenemeyen evrenler düşüncesinin peşinden gitmek bilimsel olarak savunulabilir mi?

Her kuramsal anlayışın varsaydığı bir yapısı vardır –kuramın temel bileşenleri ve bu bileşenleri yöneten matematik yasaları. Bu yapı, kuramı tanımlamanın yanı sıra, kuram çerçevesinde hangi soruların sorulabileceğini de belirler. Isaac Newton'un kuramı somut bir kuramdı. Kuramının matematiği kaya parçaları veya toplardan aya ve güneşe kadar nesnelerin konumları ve hızları gibi doğrudan karşılaştığımız ya da kolayca görebildiğimiz süreçleri ele alıyordu. Yapılan pek çok gözlem Newton'un öngörülerini doğrularken, kuramın matematiğinin aşina olduğumuz nesnelerin hareketlerini gerçekten tanımladığına dair güveni sağladı. James Clerk Maxwell'in kuramının yapısı ise ilk kez soyut bir düzleme adım attı. Titreşen elektrik ve manyetik dalgalar duyula-

rımızla doğrudan algılayabildiğimiz şeyler değildir. "Işığı" görsek de --dalga boyları gözümüzün algılayabileceği sınırda olan elektromanyetik dalgalar– görme duyumuz kuramın ileri sürdüğü dalgaları algılayamaz. Böyle bir durumda bile, bu titreşimleri ölçmek için geliştirilen ileri seviyede cihazlara ve kuramın öngörülerini doğrulayan çok sayıda bulguya dayanarak bir elektromanyetik alan denizinde bulunduğumuzu anlayabildik.

Yirminci yüzyılda ise bilim giderek erişilmesi mümkün olmayan özellikleri incelemeye yöneldi. Uzay ve zamanın iç içe geçmişliği özel görelilik için yapı iskelesi işlevi görüyor. Ardından uzay ve zamana Einstein'ın ortaya koyduğu şekilde eğilip bükülme özelliği atfedildiğinde ise genel görelilik kuramı için esnek bir temel oluşturuyorlar. Buna göre, saatimin tik tak işlediğini gördüm, mesafeleri ölçmek için cetvel kullandım, ama şu uzay-zamanı sandalyemin kolçaklarını hissettiğim gibi hissedemedim bir türlü. Kütleçekiminin etkilerini hissedebiliyorum, ama bana bükülmüş bir uzay-zaman içinde bulunduğunu hissediyor musun diye sorsanız, kendimi yeniden Maxwellvari bir duruma dönmüş hissederim. Özel ve genel görelilik kuramlarının doğruluğuna inanıyorum. Bu kuramların temel bileşenlerine somut erişim imkânım olduğu için değil, bu kuramların öne sürdüklerini kabul ettiğimde kuramların matematiğinin ölçerek anlayabileceğim şeyler konusunda öngörüler ürettiğini bildiğimden. Nitekim bu öngörülerin hepsinin de olağanüstü derecede hassas olduğu ispatlandı.

Kuantum mekaniği ise erişilebilirlik sınırlarını daha fazla zorlamaktadır. Kuantum mekaniğinin temel bileşeni, 1920'lerin ortalarında Erwin Schrödinger tarafından keşfedilen bir denklem tarafından tanımlanan olasılık dalgasıdır. VIII. Bölüm'de göreceğimiz gibi, bu dalgalar kuantum fiziğinin temel özelliğini oluştursalar da kuantum fiziğinin yapısı bunların aynı zamanda hiçbir zaman ve hiçbir biçimde gözlenemeyen dalgalar olduğunu kesinleştirmektedir. Olasılık dalgaları, herhangi bir parçacığın nerede bulunabileceğine dair öngörülere temel oluştursa da kendileri gündelik gerçekliğimizin dışında kalırlar.[2] Buna karşın, kuramın öngörüleri son derece başarılı sonuçlar verdiği için bi-

lim yıllardır böylesi sıra dışı bir olguyu kabullenmiştir: Kuram, yepyeni ve zaruri bir kavram sunmaktadır ve kuramın kendisine göre, bunun gözlenmesi mümkün değildir.

Tüm bu örneklerdeki ortak özellik göstermektedir ki temel yapısındaki bileşenler erişimimizin ötesinde kalsa da bir kuramın başarısı, yapısı hakkında, yapısı kurulduktan sonra gelen bir kanıt olarak kullanılabilir. Bu, kuramsal fizikçinin gündelik deneyimine yansıyan öyle bir noktadır ki hem kullanılan dil hem de sorulan sorular, bir masadan ya da sandalyeden çok daha az erişilebilir olan ya da hiçbir biçimde doğrudan erişimimiz içinde bulunmayan şeylerden tereddütsüz bir şekilde bahseder.*

Biraz daha ileri gidip kuramın yapısını ilgili olduğu olguları anlamak için kullandığımızda, erişilmesi mümkün olmayan başka şeyler ortaya çıkmaktadır. Kara delikler genel göreliliğin matematiğinden doğmuştur. Gökbilim gözlemleri de kara deliklerin yalnızca gerçek değil aynı zamanda yaygın olduklarına ilişkin güçlü kanıtlar sağlamıştır. Yine de kara deliklerin içerisi bilinmezliğini korumaktadır. Einstein'ın denklemlerine göre, kara deliğin sınırı, yani olay ufku, geri dönüşü olmayan bir yüzeydir: içeri girer ama dışarı çıkamazsınız. Dışarıdan yaklaşacak hiç kimsenin kara deliğin içini gözlemleme imkânı olmayacağı anlaşılmaktadır; pratik nedenlerle olmasa bile, genel görelilik kuramının temel yasaları nedeniyle. Yine de kara deliğin olay ufkunun öteki tarafında kalan bölgenin gerçek olduğu konusunda tam bir görüş birliği bulunmaktadır.

Genel göreliliğin kozmolojiye uygulanması ise çok daha aşırı uçta erişilmezlik örnekleri sunmaktadır. Dönüşü olmayan bir

* Gerçekliği anlama konusunda bilimin rolünün ne olduğuna ilişkin farklı bakış açıları bulunduğu için, değindiğim konular da çeşitli yorumlara açıktır. İki önemli yaklaşımdan birini temsil eden *realistler*, matematik kuramlarının gerçekliğin özüne doğrudan ışık tuttuğunu öne sürerler. *Araçsalcılar* ise kuramın, ölçme araçlarımızın ortaya koyduklarını öngören bir araç olduğunu, ancak gerçekliğin kendisi hakkında bir şey söyleyemeyeceğini savunurlar. Yıllardır süren tartışmalardan sonra bilim felsefecileri bu yaklaşımlar ve ilişkili konumlarla ilgili olarak sayısız ilerleme kaydetmişlerdir. Benim kendi görüşüm ve bu kitapta benimsediğim yaklaşım, gerçekçiliktir. Özellikle, birtakım kuramların bilimsel geçerliğini sorguladığım ve bu kuramların gerçekliğe ilişkin öne sürebildiklerini değerlendirdiğim bu bölüm, farklı felsefi yaklaşımların çok farklı biçimlerde değerlendirebilecekleri bir bölümdür.

yolculuk olduğunu umursamazsanız, kara deliğin içerisini en azından muhtemel bir varış yeri olarak düşünebilirsiniz. Ne var ki ışık hızında yol alabilsek bile, kendi kozmik ufkumuzun ötesinde kalan cisimler yine de bizim için ulaşılmaz olan şeylerdir. Hele de bizimki gibi ivmelenen bir evrende bu durumun imkânsızlığı daha da açıktır. Kozmolojik hızlanmanın ölçülen değerini dikkate aldığımızda (hiç değişmeyeceğini varsayarak), bizden yaklaşık 20 milyar ışık yılı uzakta olan herhangi bir cisim görebildiğimiz, gidebildiğimiz, ölçebildiğimiz ya da etkileyebildiğimiz alanların çok ötesinde kalmaktadır. Bu uzaklığın ötesinde, uzaydaki herhangi bir cisim bizden öylesine çabuk uzaklaşacaktır ki bu uzaklaşmaya karşı koymak, kendisinden hızlı bir dalgaya karşı tutunmaya çalışan bir sandalcının çabası gibi anlamsız olacaktır.

Kendi kozmik ufkumuzun ötesinde kalan cisimler hiçbir zaman gözlemleyemediğimiz ve gözlemleyemeyeceğimiz cisimlerdir. Benzer biçimde, onların da bizi gözlemlemiş ve gözlemleyecek olması mümkün değildir. Bazı cisimler geçmişte kozmik ufkumuz içinde yer almışken, artık kozmik ufkumuzun ötesine itilmişlerdir. Bu nedenle, geçmişte gözlemleme imkânımız olan cisimleri artık gözlemleme şansımız kalmamıştır. Ancak, yine de bu cisimlerin ve yer aldıkları bölgelerin herhangi başka bir somut cisim kadar gerçek oldukları görüşündeyim. Tartışmaya açık bir görüş olsa da bir zamanlar kozmik ufkumuzda bulunup sonradan varlığını bilemediğimiz başka bir bölgeye çekildiği için ufkumuzdan çıkmış bir gökadanın gerçeklik sahnesinden de silinmiş olduğunu düşünmek gerçekten de garip olacaktır. Ne bizim ne de oradaki cisimlerin gözlem yapma ya da etkileme şansı bulunsa da bu bölgeler varoluş resminin içinde yer alırlar.[3]

Verilen örneklerden de anlaşıldığı gibi, bilim, temel bileşenlerinden varılan sonuçlarına kadar, içinde erişilmez olanları barındıran kuramlara yabancı değildir. Bu elle tutulmazlara olan inancımız, aslında kurama olan inancımızdan kaynaklanmaktadır. Kuantum mekaniği olasılık dalgalarını ortaya attığı zaman, atom ve atomaltı parçacıklarının hareketleri gibi ölçülebilir şey-

lerin tanımlamasına etkileyici bir şekilde olanak tanıması ile bu dünyaya özgü olmayan gerçekliğini bize kabul ettirebildi. Genel görelilik, gözlemleyemediğimiz yerlerin varlığından söz ettiği zaman, gezegenler ya da ışığın aldığı yol gibi gözlemleyebildiğimiz şeyleri inanılmaz bir başarı ile açıkladığı için bizi inandırmakta başarılı oldu.

Artık bir kurama güven duyabilmek için tüm özelliklerinin gözlemlenmesi gerekmiyor; doğrulanmış öngörülerin sağlam ve çeşitlendirilmiş örnekleri yeterli. Bir asırdan uzun bir süre öncesine uzanan bilimsel çalışmalar kuramların saklı, erişilmesi mümkün olmayan bileşenleri kullanabileceğini kabul etmiştir – eğer ilginç, yeni ve gözlenebilir çeşitli olgularla ilgili sınanabilir öngörüleri varsa.

Bu da demektir ki kendi evrenimizin ötesindeki evrenlere ilişkin doğrudan hiçbir kanıtımız bulunmasa da çoklu evren gibi bir konuda ikna edici bir kuram ortaya atılabilir. Eğer bir kuramı destekleyecek deneysel ve gözlemsel veriler varsa, hele de kuram kendisini tartışmaya yer vermeyecek biçimde matematiksel olarak da ifade edebiliyorsa, o zaman kuramı tamamen kabul etmeniz gerekir. Bu durumda kuram, söz gelimi, başka evrenlerin varlığından da söz ediyorsa, sunduğu bu gerçekliği kabul etmekten başka çare yoktur.

O zaman ilke olarak –yanlış anlaşılmasın, burada tamamen ilkeden söz ediyorum– erişilmez evrenler konusu bilimin dışında kalamaz. Bu konuda bir örnek vermemiz gerekirse, günün birinde sicim kuramı kapsamında deneysel ve gözlemsel verilere dayanan bir durum ortaya çıktığını düşünün. Belki gelecekte bir hızlandırıcı bir dizi sicim titreşiminin örüntülerini saptayıp ekstra boyutlar hakkında kanıtlar elde ederken, gökbilim gözlemleri de mikrodalga fon ışınımında sicimsi özelliklerin varlığını ve uzun gerilmiş sicimlerin uzayda dalgalandıklarını belirleyebilir. Dahası, sicim kuramı anlayışımızın ciddi biçimde geliştiğini ve kuramın Manzara Çoklu Evreni modelini kesin, olumlu ve karşı çıkılmaz kanıtlarla ispat ettiğini farz edin. İşte o zaman, tüm karşıt görüşlere rağmen, güçlü deneysel ve gözlemsel kanıtlarıy-

la çoklu evreni destekleyen bir kuram karşısında artık "pes etme" zamanı gelmiş olurdu.*

Şimdi bu bölümün başındaki soruya dönecek olursak, şunları söylememiz gerekir: Doğru bilimsel bağlamda çoklu evren düşüncesini ortaya atmak kendi başına saygın bir girişim olmakla kalmaz, asıl bunu *yapmamak* bilimdışı bir önyargının göstergesi olurdu.

Bilim ve Erişilemeyen II:
İlkeler buraya kadar, peki uygulamada neredeyiz?

Kuşkucular haklı olarak şöyle diyeceklerdir: İlke olarak, belli bir çoklu evren kuramı üzerinde çalışılması anlaşılabilir. Ancak, tasvir ettiğimiz bu çoklu evren önerilerinden herhangi birinin diğer evrenlere dair kesin öngörüleri olan, deneysel olarak doğrulanmış bir kuram niteliğini taşıyıp taşımadığını değerlendirmek ayrı bir şeydir. Peki bu kuramlar bu niteliği taşıyor mu?

Kapitone Çoklu Evren sınırsız bir uzaysal genişlemeyi öngörmekte, bu da genel göreliliğin ilkelerine uygun düşmektedir. Burada sorun genel göreliliğin sınırsız bir uzay genişlemesine olanak tanıması fakat bunu zorunlu kılmamasıdır. Bu da genel görelilik kabul görmüş bir çerçeve olduğu halde, Kapitone Çoklu Evren modelinin kesinleşmemiş olmasını açıklar. Uzayın sınırsız genişliği ebedi şişme anlayışından kaynaklanmaktadır – içinden bakıldığında her bir baloncuk evrenin sınırsızmış gibi algılandığını hatırlayın– ancak Kapitone Çoklu Evren modeli için belirsizlik sürmektedir çünkü temelinde yatan önerme, yani ebedi şişmesi her durumda varsayımsaldır.

Aynı husus ebedi şişmeyi öngören Şişme Evreli Çoklu Evren modeli için de geçerlidir. Son on yıldır yapılagelen gökbilim gözlemleri fizik çevrelerinde şişme kozmolojisi için güven uyandır-

* İçinde muazzam sayıda çeşitli evrenlerin yer aldığı bir çoklu evren konusunda yerinde bir endişe şu olabilir: Deneyler ve gözlemler ne derse desin, kuramın sözünü ettiği evrenler içinde sonuçlarla uyum gösteren bir evren mutlaka olacaktır. O halde, kuramın yanlış olduğunu ispatlayacak deneysel bir kanıt da olamaz. Tersine düşünürsek, hiçbir veri de tam anlamıyla kuramın doğruluğunu destekleyecek bir kanıt olarak yorumlanamaz. Bu konuya birazdan tekrar döneceğim.

dıysa da şişmesel genişlemenin ebedi olup olmadığı konusunda bir şey söyleyememektedir. Bu modele ilişkin kuramsal çalışmaların çoğunda baloncuk evrenlerin birbiri ardı sıra ortaya çıkmasıyla ebedi bir genişleme anlayışı ifade edilse de bazılarında sadece tek bir baloncuğun genişlemesi ele alınmaktadır.

Zar Çoklu Evren, Döngüsel Çoklu Evren ve Manzara Çoklu Evreni versiyonlarının hepsi temelde sicim kuramına dayanmaktadır; bu nedenle de muhtelif belirsizliklerden mustariptirler. Sicim kuramı önemli bir kuram olabilir; matematiksel yapısı da zenginleşmiş olabilir fakat sınanabilir öngörülerinin azlığı ve bunun doğal sonucu olarak deney ve gözlemlerle temasının olmaması bu kuramı bilimsel spekülasyon alanına geriletmektedir. Dahası, hâlâ üzerinde çalışılmakta olduğu için kuramın hangi özelliklerinin gelecekte önemli rol oynayacağı belirsizdir. Zar ve Döngüsel evren modellerindeki zar anlayışı mı önemli olacaktır? Manzara Çoklu Evreni'nde sözü edilen çok sayıda ekstra boyutlar mı ön plana çıkacaktır? Yoksa ileride ekstra boyutlar için belli bir şeklin seçilmesini sağlayan matematiksel bir ilke mi bulunacaktır? Doğrusu bilmiyoruz.

Bu yüzden, diğer evrenler hakkında ya pek az öngörüde bulunan ya da hiç bulunmayan herhangi bir çoklu evren modeliyle ilgili ikna edici savlar kurabilmek akla yatkın olsa bile, ele aldığımız çoklu evren senaryoları için bu mümkün değildir. En azından şimdilik değil. Bu çoklu evren senaryolarından herhangi birini tam anlamıyla değerlendirebilmemiz için senaryoların çoklu evren öngörülerinin direkt olarak ele alınması gerekir.

Bunu yapabilir miyiz? Diğer evrenler deney ve gözlemlerimizin erişiminin ötesinde kalıyor olsa bile, bir kuramın diğer evrenlerin varlığını içermesi sınanabilir öngörüler üretebilir mi? Bu önemli sorunun yanıtını birkaç adımda vermeye çalışalım. Önce "ilkesel" bakış açılarından başlayıp "uygulamaya yönelik" bakış açıları ile devam edelim.

Bir Çoklu Evrende Öngörüler I:

Çoklu evreni oluşturan evrenler erişilmezse, yine de anlamlı öngörülerde bulunulmasına katkıda bulunabilirler mi?

Çoklu evren kuramlarına karşı çıkan bazı bilim insanları bu yöndeki çalışmaların yenilgiyi kabul etmek olduğunu, diğer bir deyişle, gözlemleyebildiğimiz evrenin neden kendine özgü nitelikleri olduğunu uzun soluklu bir süreçte açıklamaya çalışmaktan kaçmak olduğunu düşünmektedirler. Sicim kuramı kapsamında, doğanın sabitleri de dahil olmak üzere, uzun yıllardır evrenin gözlemlenebilir hemen her temel özelliğini hesaplamaya çalışanlardan biri olarak bu görüşleri anlayabiliyorum. Eğer sabitleri bir evrenden öbürüne kısmen ya da tamamen değişiklik gösteren bir çoklu evrenin parçası olduğumuzu kabul edeceksek, o zaman böyle bir amacın da yanlış bir amaç olduğunu kabul etmemiz gerekir. Söz gelimi, temel yasalar elektromanyetik kuvvetin çoklu evrenin değişik yerlerinde değişik şiddetlere sahip olduğunu belirtse, o zaman böyle bir şiddeti tek bir değer olarak hesaplamaya çalışmak, tıpkı bir piyaniste çalacağı parçada bir notayı *esas* nota olarak seçmesini söylemek gibi anlamsız olurdu.

Ancak burada şöyle bir nokta var: Belli bir özellik için değişik evrenlerde birbirlerinden farklı değerlerin bulunması, kendi evrenimizin özellikleri üzerine tüm öngörüde bulunma –önceden ve sonradan– gücümüzü kaybetmemiz anlamına gelir mi? Pek değil. Her ne kadar bir çoklu evren kendine göre ayrıcalıklı bir yapıya meydan bırakmasa da belli ölçüde tahmin yürütebilme kapasitesi korunabilir. Olay istatistiğe indirgenir.

Köpekleri düşünelim. Hepsinin ortak, tek bir ağırlığı yoktur. Örneğin, şivava türü köpekler yaklaşık 1 kilogram ağırlıklarıyla hafif köpeklerken, çok ağır köpeklerden olan İngiliz çoban köpeklerinin ağırlıkları 100 kilogramı geçebilir. Sokakta yanınızdan geçen bir köpeğin ağırlığını tahmin etmenizi istesem, herhalde bahsettiğim ağırlıklar arasında tahminler yürütürsünüz. Eğer köpekle ilgili biraz bilgi edinirseniz, daha da tutarlı bir tahminde bulunabilirsiniz. Eğer bulunduğunuz bölgede yaşayan tüm köpeklerin sayısını, kaç kişinin şu ya da bu tür köpek beslediğini, her bir

türün ortalama ağırlığını, hatta hangi türün günde ne kadar süre yürüyüş yapma ihtiyacı olduğunu biliyorsanız, karşılaşılması *en* olası köpeğin ağırlığını tahmin edebileceksiniz demektir.

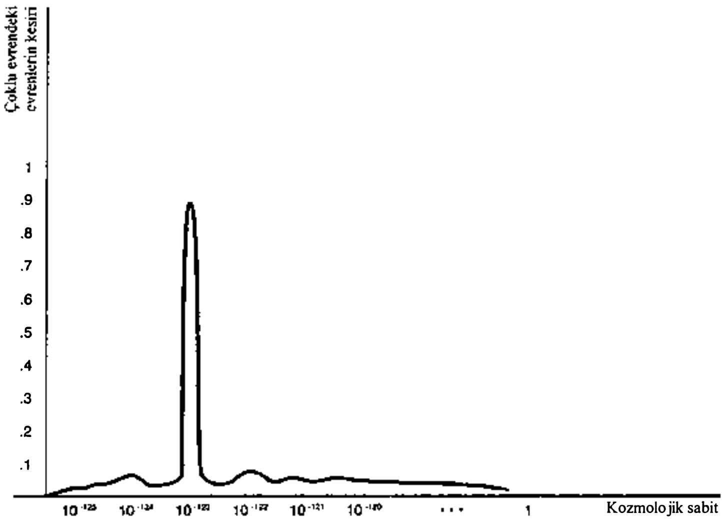
İşi şansa bırakmak yerine köpeklerin dağılımına dayanarak, şapkadan bir sayı çekmenin ötesinde bir tahminde bulunmanız mümkündür. Yaşadığınız bölgedeki köpeklerin türleri oldukça çarpık (simetrik olmayan) bir dağılım gösterse ve köpeklerin yüzde 80'i labrador retriever ırkı olup ağırlıkları da ortalama 30 kilogram civarında olsa; geri kalan yüzde 20'lik grup, İskoç teriyerinden kanişlere kadar ağırlıkları 15 kilogram civarında olan değişik ırklardan oluşsa, karşılaştığınız köpeğin ağırlığı hakkındaki tahmininiz 25 kiloyla 35 kilo arasında olabilir. Bu da iyi bir tahmin aralığıdır. Karşınıza çıkan köpek tüylü bir şitsu cinsi olabilir mi? Zayıf olasılık. Çünkü bölgenizdeki köpeklerin dağılımı ne kadar çarpık ise tahminleriniz de o kadar tutarlı olur. Eğer bölgenizdeki köpeklerin yüzde 95'i 28 kiloluk labrador retriever köpekleriyse, tutarlı bir tahminle, yanınızdan geçecek bir sonraki köpeğin de bunlardan biri olacağını söyleyebilirsiniz.

Benzer istatistiksel bir yaklaşım çoklu evrenlere de uygulanabilir. İçinde çeşitli farklı evrenleri barındıran –kuvvet şiddeti değerleri, parçacık özellikleri, kozmolojik sabit değerleri ve benzeri için farklı değerleri olan– bir çoklu evren kuramını incelediğimizi düşünün. Hatta bu evrenleri oluşturan kozmolojik süreçlerin (örneğin, Manzara Çoklu Evreni'nde baloncuk evrenlerin meydana gelişi gibi) çoklu evren içinde farklı özellikleriyle birlikte tüm bu evrenlerin dağılımını çıkartabileceğimiz şekilde iyi anlaşılmış olduğunu düşünün. Bu bilgiler gerçekten aydınlatıcı sonuçlar sağlama kapasitesine sahiptir.

Olasılıkları açıklamak için hesaplamalarımızla şöyle basit bir dağılım belirlediğimizi farz edin: Bazı fiziksel özellikler bir evrenden öbürüne önemli ölçüde değişir ama diğer özellikler aynı kalır. Örneğin, yapılan matematik hesaplamalarla, bir grup parçacığın çoklu evrenin tüm evrenlerinde bulunduğu, kütlesi ve yüklerinin her evrende aynı değerde olduğu belirlendi. Bu tür bir dağılıma dayanarak yapılacak tahminler kesinlikle isabetli

olacaktır. Eğer bizim kendi evrenimizde yapılan deneylerde öngörülen parçacık grubuna hiçbir biçimde rastlanmazsa, o zaman kuramı da çoklu evreni de bir tarafa atmamız gerekir. Dağılım bilgisi çoklu evren kavramını desteklememektedir. Tersine, eğer deneylerimizde bu parçacık grubuna rastlanırsa, o zaman da kuramın doğruluğuna olan güvenimiz artacaktır.[4]

Başka bir örnek olarak, kozmolojik sabiti çok sayıda farklı değerler gösteren bir çoklu evren düşünün. Ancak bu değerler, Şekil 7.1'de şematik olarak gösterildiği gibi, son derece düzensiz bir dağılım gösteriyor olsun. Grafikte çoklu evrendeki evrenlerin kesri (düşey eksen) ve kozmolojik sabitin değerleri (yatay eksen) görülmektedir. Eğer böyle bir çoklu evrenin parçası olsaydık, kozmolojik sabit konusuna daha farklı bakmamız gerekirdi. Çoklu evrendeki diğer pek çok evren, kendi evrenimizde ölçtüğümüz değere yakın bir kozmolojik sabit değerine sahiptir. Bu nedenle, *olası* kozmolojik sabit değerleri çok fazla sayıda olsa da çarpık dağılıma göre bizim evrenimizin kozmolojik sabit değeri çok da özel bir anlam taşımayacaktır. Böyle bir çoklu evrende, kendi evreni-



Şekil 7.1 Varsayımsal bir çoklu evrende kozmolojik sabit değerlerinin olası dağılımı. Belirgin bir çarpık dağılım olmasa, yapılan gözlemlerin yorumlanabilmesi mümkün olmazdı.

mizin 10^{-123} gibi bir kozmolojik sabit değerine sahip olması, sokakta karşınıza çıkacak bir sonraki köpeğin 28 kilogramlık bir labrador retriever olma olasılığı kadar yüksektir. İlgili dağılım verildiğinde, her iki durum da gerçekleşmesi en olası olan şeydir.

Bu konuyla ilgili bir başka örnek verelim. Belli bir çoklu evren modelinde, kozmolojik sabit değerlerin geniş bir çeşitlilik gösterdiğini, ancak bir önceki örnekten farklı olarak bu çeşitliliğin düzenli bir çeşitlilik olduğunu düşünün; diğer bir deyişle, belli bir kozmolojik sabite sahip evrenlerin sayısı, farklı değerde kozmolojik sabite sahip öteki evrenlerin sayısına eşit olsun. Dahası, böyle bir çoklu evren kuramı üzerine yapılan matematiksel bir incelemenin söz konusu dağılımda beklenmeyen bir özellik saptadığını düşünün. Kozmolojik sabiti gözlemlediğimiz değer aralığında olan evrenlerle ilgili olarak matematik, kütlesi, söz gelimi, her zaman proton kütlesinin beş bin katı –yirminci yüzyılda geliştirilen hızlandırıcılar tarafından gözlemlenemeyecek kadar ağır, ama yirmi birinci yüzyılda geliştirilenler için uygun olabilecek ağırlıkta– olan parçacık türleri olduğunu belirtiyor. Bu iki fiziksel özellik arasında sıkı bir ilişki olması nedeniyle, bu çoklu evren modeli de yanlışlanabilir. Öngörülen ağır parçacık türlerini bulmayı başaramazsak, bu çoklu evren modelini bir kenara bırakabiliriz; ama böyle bir parçacık keşfedilirse, kuramın doğruluğuna olan güvenimiz artar.

Bu senaryoların varsayımsal olduklarının altını çizmem gerekir. Bu senaryoları kullanmamın nedeni, çoklu evren bağlamında bilimsel kavrayış ve doğrulama biçimlerinin nasıl olması gerektiğini örneklemektir. Daha önce belirttiğim gibi, eğer bir çoklu evren kuramının diğer evrenleri öngörmenin ötesinde sınanabilir özellikleri varsa, bu evrenler erişilmez olsalar da ilkesel olarak kuram desteklenebilir. Verilen örnekler bu konuya açıklık getirmektedir. Bu gibi çoklu evrenler söz konusu olduğunda, bu bölümün başında sorduğumuz sorunun yanıtı tartışmasız "evet" olacaktır.

Böylesi "öngörüde bulunmaya olanak veren çoklu evrenler"in en temel özelliği, kendisini oluşturan evrenlerin rastgele bir araya gelmemiş olmasıdır. Rastgele olmak bir yana, öngörüde bu-

lunmaya dayanak oluşturan matematiksel bir örüntüye sahiptirler: Çoklu evreni oluşturan evrenlerden her birinin fiziksel özellikleri keskin bir şekilde çarpık ya da yüksek bağıntıya sahip bir dağılım göstermektedir.

Bu nasıl olabilmektedir? "İlkesel olarak" söylenebilecekleri bir tarafa bırakırsak, bu, karşılaştığımız çoklu evren kuramlarında oluyor mu?

Bir Çoklu Evrende Öngörüler II:

İlkeler buraya kadar, peki, uygulamanın neresindeyiz?

Belli bir bölgedeki köpeklerin dağılımı bir dizi değişkene bağlıdır; kültürel ve mali etmenler, kimi tesadüfler vb. Bu karmaşıklık nedeniyle, istatistiksel bir tahminde bulunacak olsanız, yapmanız gereken en doğru şey belli bir köpek ırkı dağılımının nasıl ortaya çıktığını sorgulamak yerine, bölgede kayıt tutan yetkililerden gerekli verileri almak olmalıdır. Maalesef, çoklu evren senaryoları için kayıt tutan ofisler yoktur, bu yüzden de benzer bir seçenekten söz edemeyiz. Bunun yerine, belli bir çoklu evren içindeki evrenlerin nasıl ortaya çıktığına ilişkin kuramsal kavrayışımıza dayanmak zorundayız.

Ebedi şişme kuramına ve sicim kuramına dayanan Manzara Çoklu evreni iyi bir örnek olaydır. Bu senaryoda yeni evrenlerin ortaya çıkmasına yol açan ikiz motorlar, şişmesel genişleme ve kuantum tünellemesidir. Bunun nasıl olduğunu bir hatırlayın: Sicim manzarasındaki şu ya da bu vadiyle temsil ettiğimiz genişleyen bir evren, çevredeki dağlardan birinin içinden kuantum tünellemesi yapıyor ve öbür vadiye yerleşiyordu. Birinci evrende –belirli kuvvet şiddetleri, parçacık özellikleri, kozmolojik sabit değerleri vb. olan– kendisi de genişlemekte olan, yeni fiziksel özelliklere sahip yeni bir baloncuk evren (bkz. Şekil 6.7) ortaya çıkıyor, süreç böyle sürüp gidiyordu.

Bir kuantum süreci olarak bu tür tünelleme olaylarının olasılığa dayanan bir karakteri vardır. Nerede ve ne zaman meydana geleceklerini önceden bilemezsiniz. Ancak bu tünelleme olayının –sicim manzarasındaki çeşitli zirvelerin ve vadilerin irtifa-

sı gibi (yani her birinin kozmolojik sabit değeri) ayrıntılı özelliklere bağlı olarak– belli bir zaman aralığında ve belli bir yönde gerçekleşme *olasılığını* tahmin edebilirsiniz. Gerçekleşme olasılığı daha yüksek olan tünelleme olayları daha sık meydana gelecek, sonuçta ortaya çıkan evrenler bu özelliği yansıtacaktır. O halde, doğru strateji, Manzara Çoklu Evreni içinde çeşitli fiziksel özellikler taşıyan evrenlerin dağılımını hesaplamak için şişme kozmolojisinin ve sicim kuramının matematiğini kullanmaktır.

Sorun şu ki şu ana kadar hiç kimse bunu yapabilmiş değildir. Şu andaki anlayışımız çok sayıda dağları ve vadileri olan bir sicim manzarasını önermekte, dolayısıyla, ortaya çıkan evrenlerin ayrıntılarını inceleyebilmek matematiksel açıdan son derece zor bir iş halini almaktadır. Kozmologlar ve sicim kuramcıları tarafından yürütülen ilk çalışmalar kavrayışımıza dikkate değer katkıda bulunmuştur, ancak araştırmalar hâlâ emekleme aşamasındadır.[5]

Tüm bunlara ilaveten, çoklu evren düşüncesini savunanlar önemli bir başka unsuru daha önümüze getirmek istemektedirler. Yani, bir önceki bölümde açıkladığımız seçim etkileri: İnsan temelli akıl yürütme.

Bir Çoklu Evrende Öngörüler III:
İnsan temelli akıl yürütme

Belli bir çoklu evrende yer alan evrenlerin çoğunda yaşam olasılığı yoktur. Gördüğümüz gibi bunun nedeni, doğanın temel parametrelerinin bilinen değerlerindeki değişimlerin yaşama uygun koşulları sekteye uğratmasıdır.[6] Yalnızca varoluşumuz göstermektedir ki hiçbir zaman yaşam olasılığı olmayan diğer bölgelerde zaten bulunamazdık. Bu nedenle, böyle bölgelerdeki belli parametre kombinasyonlarını görmüyor oluşumuza dair bundan öte bir açıklamaya gerek yoktur. Bir çoklu evren modelinde içinde yaşam olan tek bir evrenden söz edilmiş olsaydı, çok şanslı olurduk. Bu özel evrene ait nicelikleri matematiksel olarak hesaplardık, bu nicelikler kendi evrenimizde ölçtüklerimizden farklı çıkarsa, böyle bir çoklu evren modelini elerdik. Bu özellikler bizimkiyle uyumlu olursa, o zaman da bu insan te-

melli çoklu evren kuramının bir zaferi olur ve gerçeklik anlayışımızı muazzam ölçüde genişletmek için nedenimiz olurdu.

Yaşamı destekleyen tek bir evren olmadığı meselesi daha akla yatkındır ve bununla ilgili olarak kimi kuramcılar (Steven Weinberg, Andrei Linde, Alex Vilenkin, George Efstathiou ve başka birçok kuramcı) istatistiksel bir yaklaşım geliştirdiler. Bu yaklaşımda, çoklu evren içindeki evrenlerde göreceli olarak hangi tiplerin daha çoğunlukta olduğunu hesaplamak yerine, o evrenlerde yaşayanların –fizikçiler bu yaşayanları daha çok gözlemciler olarak tanımlarlar– sayılarına bakılması önerilmektedir. Bazı evrenlerde koşullar yaşam için pek uygun olmadığı için gözlemciler de çok az olacaktır, tıpkı zorlu bir çöl ortamında tek tük gözüken kaktüsler gibi. Koşulları göreceli olarak daha uygun olan evrenler ise gözlemcilerle dolu olacaktır. Tıpkı sözünü ettiğimiz köpek nüfusu sayımı verilerinin karşılaşma olasılığımızın yüksek olduğu köpek türlerini öngörmemize imkân vermesi gibi, gözlemci nüfusu sayımı verileri çoklu evrenin herhangi bir yerinde yaşayan tipik bir canlının –bu yaklaşımın mantığına göre, sizin ya da benim– görmeyi bekleyeceği özellikleri öngörmemize imkân verir.

1997'de Weinberg ve onunla birlikte çalışan Hugo Martel ve Paul Shapiro tarafından bu konuda somut bir örnek üzerinde çalışılmıştır. Bu araştırmacılar, kozmolojik sabitin bir evrenden öbürüne değişiklik gösterdiği bir çoklu evrende, her bir evren için yaşamın ne kadar bol miktarda var olabileceğini hesapladılar. Weinberg'in yaklaşımı (VI. Bölüm) kullanılarak yapılan bu zor hesaplamada, yaşamın kendisine bakmak yerine gökadaların oluşumu ele alınmıştır. Çok sayıda gökada, çok sayıda gezegen sistemi anlamına gelir. Bu da daha çok yaşam olasılığı, özellikle de zeki yaşam olasılığı demektir. Weinberg'in 1987'de bulmuş olduğu gibi, görece fazla büyük olmayan bir değerdeki kozmolojik sabitin bile gökada oluşumunu bozacak yeterli itici kütleçekimi gücü yaratabilmesi nedeniyle çoklu evrenin sadece yeterince küçük kozmolojik sabit bulunan alanlarına bakılması yeterlidir. Negatif değerdeki bir kozmolojik sabit gökadalar oluşmadan önce evrenin çökmesine yol açtığından, çoklu evrenin böy-

le bölgeleri de hesaplamadan çıkartılmıştır. İnsan temelli ilkeye göre, bu durumda, çoklu evrende kozmolojik sabitin yalnızca dar bir aralıkta bulunduğu alanlara bakmamız gerekir. VI. Bölüm'de açıkladığımız gibi, hesaplamalara göre belli bir evrenin gökadalara sahip olabilmesi için, kozmolojik sabitinin kritik yoğunluktan (uzayın her bir santimetreküpünde yaklaşık 10^{-27} gram kütleye ya da Planck birimleriyle 10^{-121}e eşdeğer) yaklaşık 200 kez daha az olması gerekir.[7]

Weinberg, Martel ve Shapiro kozmolojik sabit değeri bu aralıkta olan evrenler için daha ince hesaplamalara girişmişlerdir. Böyle her evrende kozmolojik evrim sürecinde gökada oluşumuna yol açacak biçimde bir araya kümelenmiş maddenin oranını belirlemişlerdir. Araştırmanın bulgularına göre, kozmolojik sabit söz konusu aralığın üst sınırına ne kadar yakınsa, o kadar az sayıda kümelenme meydana gelecektir çünkü kozmolojik sabitin dışa itimi, toz yığınlarını savuran kuvvetli bir rüzgâr gibi etki edecektir. Kozmolojik sabitin değeri eğer belirtilen aralığın alt sınırına, yani sıfıra yakın olursa, kozmolojik sabitin bozucu etkisi azalacağı için çok sayıda kümelenme meydana gelecektir. Bu da kozmolojik sabit değeri sıfıra yakın olan bir evrende yaşama olasılığımızın büyük olduğu anlamına gelir, çünkü böyle evrenler çok sayıda gökada ve bu yaklaşımın akıl yürütmesine göre daha çok yaşam barındırırlar. Kozmolojik sabit aralığının üst sınırına, yani 10^{-121}e yakın bir evrende olma olasılığınız düşüktür, çünkü böyle evrenlerde çok az sayıda gökada bulunacaktır. Sizin de kozmolojik sabiti bu iki ucun arasında yer alan bir evrende olma olasılığınız orta derecededir.

Bu sonuçların nicel verilerine dayanarak Weinberg ve arkadaşları, örnek verdiğimiz 28 kiloluk labrador retriever cinsi köpeğe semtinizde yapacağınız ortalama bir gezinti esnasında rastlama durumunun kozmik benzerini, çoklu evrendeki ortalama bir gözlemci tarafından görülecek kozmolojik sabit değerini hesaplamışlardır. Sonuç? Daha sonra yapılan süpernova ölçümleri sonuçlarından biraz daha büyük bir sayı ama yine de o civarlarda. Weinberg ve arkadaşları, bir çoklu evrende yaklaşık 10 kişi-

de 1'den 20 kişide 1'e değişen oranlarda olası bir nüfusun, aynı bizim gibi, kendi evrenlerindeki kozmolojik sabit değerini yaklaşık olarak 10^{-123} olarak ölçeceğini hesaplamışlardır.

Daha yüksek bir oran daha tatmin edici olurdu ama bu sayı da yine etkileyici gözükmektedir. Bu hesaplamalar yapılmadan önce, kuram ve gözlem temelli sonuçlar karşılaştırıldığında, büyüklük mertebeleri arasındaki fark 120'den fazlaydı. Bu da kavrayışımızda ciddi bir sorun olduğuna işaret ediyordu. Weinberg ve arkadaşlarından çoklu evren yaklaşımı ile öğrendiğimiz şudur: Kendimizi, kozmolojik sabit değeri kendi evrenimizde ölçtüğümüz değere benzer olan bir evrende bulma olasılığımız, labradorların çoğunlukta olduğu bir bölgede gezerken karşımıza şitsu cinsi bir köpek çıkması kadar şaşırtıcıdır. Diğer bir deyişle, artık pek de şaşırtıcı değildir. Kesin olan şu ki konuya çoklu evren bakış açısıyla bakıldığında, kozmolojik sabitin gözlenen değeri kavrayışımızdaki derin bir eksikliğe işaret etmemektedir ve bu da ileri doğru atılmış umut veren bir adımdır.

Ancak daha sonra yapılan çalışmalarda ilginç bir noktaya dikkat çekilmiş, elde edilen sonuçların zayıf yanları bulunduğuna ilişkin yorumlar yapılmıştır. Kısaca açıklamak gerekirse, Weinberg ve arkadaşları çoklu evrenlerinde evrenden evrene yalnızca kozmolojik sabitin değerinin değişiklik gösterdiğini düşünmüş, diğer fiziksel parametreleri değişmez olarak kabul etmişlerdir. Max Tegmark ve Martin Rees'e göre ise hem kozmolojik sabit değerinin hem de söz gelimi evrenin ilk anlarındaki kuantum titremelerinin evrenden evrene değişiklik gösterdiği kabul edilirse sonuçlar değişecektir. Bu titremelerin gökadaların oluşumuna ait, evrenin ilk anlarındaki tohumlar olduğunu hatırlayın: Şişmesel genişleme ile gerilen küçük kuantum dalgalanmaları, madde yoğunluğunun ortalamadan biraz az ya da biraz fazla olduğu bölgelerin oluşmasına yol açarlar. Yoğunluğun yüksek olduğu bölgeler yakınlarındaki maddelere daha büyük bir kütleçekimi uygular, böylece bu bölgeler daha fazla büyüyerek gökadalara dönüşür. Tegmark ve Rees, büyük yaprak yığınlarının güçlü bir rüzgârın esintisine daha fazla direnç göstermesi gi-

bi, evrenin ilk anlarındaki büyük çaplı tohumların da kozmolojik sabitin dışa doğru itici etkisine karşı daha fazla direnç gösterdiklerini belirtmişlerdir. Dolayısıyla, hem bu tohum büyüklüklerinin hem de kozmolojik sabit değerinin değiştiği bir çoklu evrende, daha büyük tohumların daha büyük değerdeki kozmolojik sabitlerin etkisini dengelediğini, bu etkileşimin de gökadaların oluşumuyla –dolayısıyla yaşamın ortaya çıkmasıyla– bağdaşır nitelikte olduğunu öne sürmüşlerdir. Bu türden bir çoklu evrende tipik bir gözlemcinin kaydedebileceği kozmolojik sabit değeri artacak, dolayısıyla, kendi evrenimizde ölçtüğümüz kozmolojik sabit değerine benzer değerleri kaydedebilecek gözlemci oranında da ciddi bir düşüş söz konusu olacaktır.

Sadık çoklu evren savunucuları, Weinberg ve arkadaşlarının öne sürdüğü düşünceleri insan temelli yaklaşımın başarısı olarak görmektedirler. Oysa bu görüşün karşısında olanlara göre, Tegmark ve Rees tarafından öne sürülenler insan temelli yaklaşımın inandırıcılığını zayıflatmaktadır. Gerçekte ise bu tartışma yeterince olgunlaşmamıştır. Tüm görüşler başlangıç niteliğinde ön değerlendirmeler olup insan temelli yaklaşıma genel bir içgörü sağlamaktan öteye geçememektedir. Belli kısıtlayıcı varsayımlar çerçevesinde, insan temelli yaklaşım bizi kozmolojik sabit değerin ölçülmüş değerinin yakınlarına atacaktır. Ancak kısıtlayıcı varsayımları bir miktar kaldırırsanız, hesaplamalara göre sonuçlar da önemli ölçüde değişecektir. Bu derece bir hassaslık da çoklu evren üzerine yapılacak daha detaylı hesaplamaların, bu çoklu evreni oluşturan evrenler ve bu evrenlerin değişiklik gösteren özellikleri hakkındaki anlayışımızın artmasının gerekli olduğunu göstermektedir. Böylece, birtakım gelişigüzel varsayımların yerini kuramsal yönergeler alacaktır. Çoklu evren düşüncesinin geçerlik kazanabilmesi için bunlar gereklidir.

Araştırmacılar bu amaca ulaşmak için yoğun çalışmalar yürütüyor, ancak günümüz itibariyle henüz kesin sonuçlara ulaşılmamıştır.[8]

Bir Çoklu Evrende Öngörüler IV:
Bunu başarmak için ne gerekiyor?

Verili bir çoklu evrenden öngörüler üretebilmek için önce hangi sorunları çözmemiz gerekiyor? Öne çıkan üç önemli sorun var.

Birincisi, az önce tartışılan örneğin gösterdiği gibi, çoklu evren önerilerinin evrenden evrene farklılık gösteren fiziksel özellikleri belirlememize olanak tanıması gerekiyor ve farklılık gösteren bu özelliklerin çoklu evren içindeki istatistiksel dağılımlarının hesaplayabilmemiz gerekiyor. Böyle bir çalışmanın temelinde, bir çoklu evrenin evrenlerinin ortaya çıkmış olduğu kozmolojik mekanizmanın (Manzara Çoklu Evren'de baloncuk evrenlerin oluşması gibi) anlaşılmış olması bulunmaktadır. Bir evren türünün diğerine kıyasla ne kadar yaygın olduğunu belirleyen bu mekanizmadır; fiziksel özelliklerin dağılımını da bu mekanizma belirler. İster bir çoklu evrenle ister yaşam bulunan evrenlerle ilgili olarak, eğer şansımız varsa, ortaya konulacak istatistiksel dağılımlar yeterince çarpık olur ve bu da kesin öngörülerde bulunmamızı sağlar.

İnsan temelli yaklaşım açısından ikinci sorun, biz insanların ortalama, sıradan canlılar olduğu, herhangi bir olağanüstülüğümüzün olmadığı anlayışıdır. Bir çoklu evrende yaşam olasılığı düşük olabilir; zeki yaşam bulunma olasılığı daha da düşüktür. Ancak, tüm zeki canlılar içinde biz insanların son derece tipik canlılar olduğu ve yaptığımız gözlemlerin çoklu evrende yaşadığı düşünülebilecek başka zeki canlıların gözlemlerinden farklı olmayacağı, aynı ortalamayı göstereceği varsayılmaktadır. (Alexander Vilenkin bunu *sıradanlık ilkesi* olarak adlandırmıştır.) Yaşam barındıran evrenlerdeki fiziksel özelliklerin dağılımını bilirsek, bu tür ortalamaları hesaplayabiliriz. Ancak tipiklik oldukça sorunlu bir varsayımdır. Gelecekteki çalışmalar, yaptığımız gözlemlerin belli bir çoklu evren içindeki ortalama dağılım aralığında yer aldığını gösterirse, o zaman tipik olduğumuza olan inancımız –aynı zamanda çoklu evren düşüncesine olan inancımız– güçlenecektir. Bu heyecan verici bir bulgu olacaktır. Ancak, gözlemlerimizle ilgili bulgular söz konusu ortalamaların dışına taşarsa, bu çoklu evren düşüncesinin yanlış olduğuna ya da bizlerin tipik canlılar

olmadığına işaret edecektir. Tıpkı, semtinizdeki köpeklerin yüzde 99'u labrador olduğu halde tipik olmayan doberman köpekleriyle karşılaşabilmeniz gibi. Başarısız olmuş bir çoklu evren düşüncesini, kendi evrenimizin de sıra dışı bir evren olduğu başarılı bir diğerinden ayırt edebilmek oldukça zor olabilir.[9]

Bu konuda bir ilerleme kaydedebilmek için belli bir çoklu evrende zeki canlıların nasıl ortaya çıktıklarını daha iyi kavramamız gerekir. Elde edilecek bilgiye dayanarak, en azından kendi evrimimizin sıradan mı yoksa sıra dışı mı olduğunu anlamak mümkün olabilir. Bunu başarmak, hiç kuşkusuz, son derece zordur. Şu ana kadar insan temelli yaklaşım bu zorluğu, konuyu daha çok Weinberg'in varsayımına –yani belli bir evrendeki zeki yaşam biçimleri sayısının, bu evrendeki gökadaların sayısıyla orantılı olduğu varsayımına– dayandırarak geçiştirmiştir. Bildiğimiz kadarıyla, zeki bir yaşamın oluşabilmesi için uygun sıcaklığa sahip bir gezegenin, bağlantılı olarak da bir gökadanın parçası olan bir yıldızın olması gerekmektedir; demek ki Weinberg'in yaklaşımının doğru olduğunu düşünmek yerindedir. Ancak, kendi kökenimize ilişkin olarak bile en ilkel kavrayışa sahip olduğumuz için, Weinberg'in varsayımı da belirsizliğini korumaktadır. Daha kesin hesaplamalar yapabilmemiz için zeki canlıların ortaya çıkışının çok daha iyi anlaşılması gerekmektedir.

Üçüncü sorun, açıklaması basit olsa da uzun vadede çözümü olmayan bir sorundur. Sonsuzluğu bölmekle ilgili bir sorun.

Sonsuzluğu Bölmek

Bu sorunu anlamak için tekrar köpeklere dönelim. Eğer bir sosis köpeği (dachshund) ve üç labradorun yaşadığı bir semtte oturuyorsanız, köpeklerin ne sıklıkta yürüyüşe çıkartıldıkları gibi ayrıntıları dikkate almazsak, bir labrador ile karşılaşma olasılığınız üç kat fazladır. Aynı oran 300 labrador, 100 dachshund; 3000 labrador, 1000 dachshund; 3 milyon labrador ve 1 milyon dachshund vb. için de geçerlidir. Peki, bu sayılar *sonsuz* büyüklükte olsa ne olurdu? Sonsuz sayıdaki dachshund köpekleriyle bunların üç katı sonsuz sayıdaki labrador köpeklerini nasıl kıyaslardınız? Basit-

miş gibi gözükse de bu soru konunun özünü oluşturmaktadır. Üç kat sonsuzluk tek kat sonsuzluktan daha mı büyüktür? Eğer büyükse, bu büyüklük üç kat büyüklük anlamına mı gelir?

Sonsuz büyüklükteki sayıları birbirleriyle kıyaslamak tamamen yanıltıcıdır. Köpekler söz konusu olduğunda bir sorun yoktur çünkü yeryüzündeki köpek sayısının bir sınırı vardır. Ancak çoklu evrenleri meydana getiren evrenler söz konusu olduğunda ortaya ciddi bir sorun çıkar. Şişme Evreli Çoklu Evren'i ele alalım. Gravyer peyniri benzeri böylesi bir çoklu evrene dışarıdan bakan birisi olsak, genişlemesinin devam ettiğini ve hiç bitmeyen bir biçimde yeni evrenlerin ortaya çıktığını görürdük. "Ebedi şişme" terimindeki "ebedi" sözcüğü bu anlamda kullanılmaktadır. Böylesi bir çoklu evrene içinden baktığımızda ise her baloncuk evrenin sonsuz sayıda ayrı ayrı bölgeleri olduğunu, bunların bir Kapitone Çoklu Evren oluşturduğunu görecektik. Diğer bir deyişle, tahminler yürütürken, karşımızda evrenlerin sonsuzluğu olacaktı.

Konuyu matematiksel yönüyle açıklayabilmek için, *Let's Make a Deal** (Seç Bakalım) adlı yarışmayı ele alalım. Bu programda yarışmacı olduğunuzu ve içleri para dolu sonsuz sayıda zarflar kazandığınızı düşünün. İlk zarfta 1 dolar, ikincisinde 2 dolar, üçüncüsünde 3 dolar ve bu şekilde devam ediyor. Seyirci tezahürat yaparken, sunucu Monty size bir teklifte bulunuyor. Eğer kazandığınız zarfları almayıp vazgeçerseniz, her bir zarfınızın içindeki para miktarının iki katını vereceğini söylüyor. İlk başta, bu teklifi kabul etmek son derece mantıklı gelecektir. "Her zarfın içindeki para öncekinin iki katına çıkacak, doğru karar bu olmalı," diye düşünürsünüz. Eğer elinizdeki zarfların sonlu bir sayısı olsaydı, haklıydınız. Söz gelimi, içlerinde 1 dolar, 2 dolar, 3 dolar, 4 dolar ve 5 dolar bulunan beş zarfı, içlerinde 2 dolar, 4 dolar, 6 dolar, 8 dolar, 10 dolar bulunan zarflarla değiştirmek kuşkusuz akıllıca bir iş olurdu. Ancak biraz düşününce kararsızlık yaşarsınız, çünkü fark edersiniz ki zarflarınızın sonsuz sayıda

* Yarışma programının bir benzeri 90'lı yıllarda ülkemizde "Seç Bakalım" adıyla yayınlanmıştır (ç.n.).

olması bir sorun yaratmaktadır. "Eğer teklifi kabul edersem," diye düşünürsünüz, "2 dolar, 4 dolar, 6 dolar, ... gibi içlerinde sonsuza kadar tüm çift sayılarla tanımlanan miktarda dolar bulunan zarfları cebe indireceğim. Ama bir dakika! Görünen o ki şu an zarflarımda hem çift hem de tek sayılar içeren *tüm* tam sayılar kadar para var. Teklifi kabul etmem durumunda, ben toplam paramın içinde tek sayılar miktarındaki paraları *ortadan kaldırmış* olacağım. Bu pek de akıllıca gözükmüyor." Aklınız karışmaya başlar. Zarfları tek tek kıyasladığınızda teklif güzel gözükürken, toplu halde kıyasladığınızda, teklif kötü gözükmeye başlar.

İkilemde kalmanızın nedeni, sonsuz kümeler arasında karşılaştırma yapmak zorunda olmanızdır. Bu da matematiksel açıdan bir sorundur. İzleyiciler sabırsızlanırken, siz de artık bir karar vermek zorundasınızdır, ancak size yapılan teklife nasıl yaklaştığınız iki sonucu nasıl karşılaştırdığınıza bağlıdır.

Benzer bir durum bu şekildeki kümelerin daha temel bir özelliğini karşılaştırırken de yaşanacaktır: Yani her birinin içerdiği elemanların sayısını kıyaslamada. *Let's Make a Deal* yarışması bu konuda iyi bir örnek oluşturmaktadır. Hangisi daha fazladır tam sayılar mı, çift sayılar mı? Tam sayıların yarısı çift sayılardan oluştuğu için pek çok kişi yanıtın tam sayılar olduğunu söyleyecektir. Ancak, Monty'nin teklifi bağlamında bu soruya daha farklı bakmaya başlayabilirsiniz. Diyelim ki Monty'nin teklifini kabul edip tüm çift sayılarla tanımlanan miktarda parayı aldınız. Bu durumda, ne kendi zarflarınızdan bir bölümünü geri verirsiniz ne de size yeni başka zarflar verilir çünkü Monty her bir zarftaki paranın iki katını vermiştir. Anlarsınız ki tam sayılı tüm zarfların sayısıyla çift sayılı tüm zarfların sayısı aynıdır– yani, her bir kategorideki elemanların sayısı birbirine eşittir (Tablo 7.1.). Çok tuhaf değil mi? Çift sayıların tam sayıların bir altkümesi olduğunu düşünerek karşılaştırma yaptığınızda, daha fazla tam sayı olduğu sonucuna varırsınız. Her grubun elemanlarını barındıran kaç zarfa gerek olduğunu düşünerek karşılaştırma yaptığınızda ise tam sayıların kümesiyle çift sayıların kümesinde eşit sayıda elemanlar olduğunu anlarsınız.

Tam sayılar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	
İki katı olan çift sayılar	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	...

Tablo 7.1. Her tam sayı bir çift sayıyla eşleşmiştir (ya da tersi). Buna göre, her birinin miktarı aynıdır.

Hatta çift sayıların tam sayılardan *daha fazla* olduğunu bile düşünmeye başlayabilirsiniz. Diyelim ki Monty elinizde bulunan ilk zarfların içindeki miktarın dört katını vermeyi teklif etti. Yani, ilk zarfta 4 dolar, ikinci zarfta 8 dolar, üçüncü zarfta 12 dolar, ... olacak. Aynı şekilde, teklifte zarfların sayısı açısından bir değişiklik olmadığı için, tam sayıların miktarı dörde bölünebilir sayıların miktarına eşit olacaktır (Tablo 7.2.). Her bir tam sayıyı dörde bölünebilir bir sayı ile eşlediğiniz zaman da sonsuz sayıda dörde bölünemeyen başka çift sayılar –2, 6, 10, ...– olacak, bundan yola çıkarak çift sayıların tam sayılardan daha fazla olduğunu düşünmeye başlayacaksınız.

Tam sayılar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
Dört katı olan çift sayılar	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40

Tablo 7.2. Her tam sayı dörde bölünebilir bir çift sayıyla eşleşmiştir. Bu da dörde bölünemeyen diğer çift sayıları dışarıda bırakır. Bu nedenle, çift sayıların tam sayılardan daha fazla olduğu düşünülebilir.

Bir bakış açısından, çift sayıların nüfusu tam sayılarınkinden daha azdır. Diğer bir bakış açısından, eşittir. Başka bir bakış açısından ise çift sayılar tam sayılardan daha fazladır. Bunlardan herhangi birinin doğru ya da yanlış olduğunu söyleyemeyiz. Bu tür sonsuz kümelerden hangisinin daha fazla olduğu sorusunun kesin bir yanıtı yoktur. Bulduğunuz sonuç, karşılaştırmayı hangi bakış açısından yaptığınıza bağlıdır.[10]

Bu durum çoklu evren kuramları açısından da bir bilmece oluşturur. Evrenlerin sayısı sonsuz büyüklükte olunca, şu ya da bu türden bir evrende gökadaların ve yaşamın daha fazla olduğuna nasıl karar vereceğiz? *Fizik, karşılaştırma yapabilmemiz için*

kesin bir kural sunmadığı sürece, bu belirsizlik bizi ciddi bir biçimde etkilemeye devam edecektir. Kuramcılar, fiziğin farklı bakış açılarından yola çıkarak yukarıdaki tablolarda verilen eşleşmelere benzer önerilerde bulunmuşlardır. Ancak üzerinde uzlaşmaya varılmış kesin bir yöntem henüz bulunmamıştır. Sayılarla ilgili örnekte olduğu gibi, değişik bakış açıları değişik sonuçlar vermektedir. Bir bakış açısından karşılaştırma yaptığınızda, evrenlerin belli bir grup özelliği ağır basacak; farklı bir bakış açısından yaklaştığınızda ise başka grup özellikler öne çıkacaktır.

Bu belirsizlik yüzünden belli bir çoklu evrenin hangi özelliklerinin tipik ya da ortalama özellikler olduğu konusunda vardığımız sonuçlar önemli ölçüde değişmektedir. Fizikçiler bunu, anlamını net biçimde ifade eden bir matematiksel bir terimle ölçme sorunu olarak adlandırmaktadır. Birbirinden farklı sonsuz evren kümelerinin büyüklüklerini ölçebilmek için bir ölçme aracına ihtiyacımız var. Öngörülerde bulunabilmek için de gerek duyduğumuz işte bu bilgidir. Bu bilgiyle şu ya da bu türde bir evrende yaşadığımızı söyleyebiliriz. Sonsuz evren kümelerini nasıl karşılaştıracağımızı gösterecek temel bir kural bulana kadar bir çoklu evrende yaşayan tipik canlıların –yani bizim– deneyler ya da gözlemlerde neyi nasıl görmemiz gerektiğini matematiksel olarak ifade etmemiz mümkün olmayacaktır. Ölçme sorununun çözülmesi şarttır.

Başka Bir Karşıt Görüş

Ölçme sorununu ayrı bir kısımda ele almak istedim çünkü ölçme sorunu yalnızca öngörülerimize ciddi bir engel oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda bizi kaygı verici başka sonuçlara götürür. III. Bölüm'de, şişme kuramının neden genelgeçer kozmolojik bir paradigma olduğunu açıklamıştım. Evrenimizin ilk dakikalarında meydana gelen kısa süreli ani genişleme, ölçümlerle saptanmış ortak sıcaklık değerinin gösterdiği gibi, bugün birbirinden uzakta olan bölgelerin daha önce birbirleriyle etkileşim içinde olmuş olabileceğini açıklıyordu. Ani genişleme, aynı zamanda, uzaysal eğrilikleri düzleştirmekte, gözlemlerin de orta-

ya koyduğu gibi, uzayı düz bir biçime sokmaktaydı. Son olarak, böyle bir genişleme sonucunda kuantum titremeleri tüm uzayda mikrodalga fon ışınımı ile ölçülebilen ve gökadaların oluşumu için gerekli küçük sıcaklık değişmelerine yol açıyordu. Bu başarılı açıklamalar kuramı güçlendirmektedir.[11] Ne var ki ebedi şişme modeli bu sonucu çürütme kapasitesine sahiptir.

Kuantum süreçleri söz konusu olduğunda yapılabilecek en iyi şey, elde edilen bir sonucun başka bir sonuca bağlı olarak olabilirliğini belirlemektir. Bunu çok ciddiye alan deneysel fizikçiler deney üstüne deney yapmakta, istatistik çözümlemelere dayanak olabilecek zengin veriler elde etmeye çalışmaktadır. Kuantum mekaniği, elde edilen bir sonucun başka bir sonuçtan en az on kat kadar daha olası olduğunu söylerse, o zaman ilgili verilerin de bu oranı yansıtması gerekir. Kozmik mikrodalga fon hesaplamalarıyla gözlem sonuçları arasındaki uyuşma şişme kuramı için en ikna edici kanıttır. Kozmik mikrodalga fon hesaplamaları kuantum alan titremelerine dayanır, dolayısıyla onlar da olasılıksaldır. Ancak laboratuvar deneylerinin aksine, bu hesaplamalar büyük patlamayı tekrar tekrar gerçekleştirerek sınanamazlar. O halde nasıl yorumlanmalıdırlar?

Kuramsal bağlamda mikrodalga verilerinin, söz gelimi, yüzde 99 oranında belli bir biçim aldıkları söylenebiliyor. Biz gözlemciler de bunu gözlemleyebiliyorsak, o zaman verilerin kuramı güçlü biçimde desteklediği söylenebilir. Diğer bir deyişle, eğer bir evren kümesi aynı fizik ilkelere göre ortaya çıkmışsa, kurama göre bu evrenlerin yüzde 99'u bizim gözlemlerimizle uyumlu özelliklere sahipken, yüzde 1'lik bir kısmı da önemli derecede sapmış olacaktır.

Eğer bir Şişme Evreli Çoklu Evren'deki evrenlerin sayısı sınırlı olsaydı, kuantum süreçlerinin beklentileri karşılamayan verilerle sonuçlandığı evrenlerin sayısının karşılaştırmalı olarak çok küçük olduğu sonucuna doğrudan varabilirdik. Ancak, Şişme Evreli Çoklu Evren'de olduğu gibi evrenlerin sayısı sınırlı değilse, sayıları yorumlamak çok daha güçleşir. Yüzde 99 sonsuzluk nedir? Sonsuzluğun yüzde 1'i kaçtır? Yine sonsuzluk. Hangisi daha büyüktür? Bu durumda iki sonsuz kümeyi kıyaslamamız

gerekir. Daha önce görmüş olduğumuz gibi, bu kümelerden biri diğerine göre daha büyük gözükse bile, varmış olduğunuz sonuç nasıl bir kıyaslama yöntemi kullandığınıza bağlı olacaktır.

Karşıt görüşlüler, şişmenin ebedi olması durumunda, *kuramı savunan öngörülerimizin riske girdiği* sonucuna varırlar. Kuantum hesaplamaları ile ortaya çıkan olası her sonuç, olabilirlik oranı az olsa da –yüzde 0,1 kuantum olasılığı, yüzde 0,0001 kuantum olasılığı, yüzde 0,0000000001 kuantum olasılığı– yine sonsuz sayıda evrenler anlamına gelir çünkü bu sayılardan herhangi biri kere sonsuzluk yine sonsuzluktur. Sonsuz kümeleri kıyaslamak için temel bir ilkemiz bulunmadığı sürece, bir evren kümesinin başka bir evren kümesinden daha büyük olduğunu, bu nedenle de bu evren kümesinin bizim gözlem yapmamız en olası olan küme olduğunu söyleyemeyiz, kesin tanımlar yapamayız.

Kurama iyimser yaklaşanlar ise şişme kozmolojisinin kuantum hesaplamaları ile veriler arasında izlenen uyumun, Şekil 3.5'te olduğu gibi, derin bir gerçeği yansıttığını söyleyecektir. Sonlu sayıda evrenler ve gözlemciler bağlamında önemli olan gerçek şu ki verilerin kuantum öngörüleriyle uyuşmadığı evrenler –yüzde 0,1 kuantum olasılığı, yüzde 0,0001 kuantum olasılığı, yüzde 0,0000000001 kuantum olasılığı olanlar– son derece nadirdir, bu nedenle de bizler gibi çoklu evrenin sıradan canlıları için bu tür bir evrende yaşama imkânı söz konusu değildir. İyimserimiz, sonsuz sayıda evrenler bağlamında derin gerçek olarak beklenmedik evrenlerin nadir olma durumunun, henüz bilinmeyen bir biçimde, hâlâ geçerli olması gerektiği sonucuna varmış olacaktır. Beklenti, bir gün çeşitli sonsuz evren kümelerini karşılaştırmak için kesin bir ölçme yöntemi bulacağımız yönündedir. Bu yöntemle, nadir kuantum sapmalarından kaynaklanan evrenler, daha olası kuantum sonuçlarından kaynaklanan evrenlere göre daha küçük ölçüm değerine sahip olacaktır. Bunu gerçekleştirmek güç bir iştir, ancak alandaki araştırmacıların çoğu, Şekil 3.5'teki uyuşmaya dayanarak günün birinde bunun başarılacağına inanmaktadır.[12]

Bilinmezler ve Çoklu Evrenler:

Bir çoklu evren aksi takdirde yoksun kalacağımız bir açıklayıcılık gücü sağlayabilir mi?

Kuşkusuz fark etmişsinizdir ki en iyimser beklentiyle bile, çoklu evren kapsamında ortaya çıkan öngörüler fizikten geleneksel olarak beklediğimiz öngörülerden farklı özellikler taşıyacaktır. Merkür'ün günberisinin (perihel) devinmesi, elektronun manyetik çiftkutup (dipol) momenti, uranyum çekirdeği baryum ve kriptona bölündüğünde ortaya çıkan enerji: *bunlar* öngörülerdir. Bu öngörüler, sağlam fizik kuramlarına dayalı ayrıntılı matematiksel hesaplamalara göre ileri sürülmüş ve yüksek hassasiyette, test edilebilir değerler vermişlerdir. Bu değerler deneysel olarak da doğrulanmıştır. Örneğin, hesaplamalarda elektronun manyetik momenti 2,0023193043628 olarak öngörülmüş, ölçümler bu değerin 2,0023193043622 olduğunu göstermiştir. Her biriyle ilgili küçük hata paylarının sınırları içinde, yapılan deneyler kuramı 10 milyarda 1 oranında sağlam biçimde doğrulamıştır.

Şimdi bulunduğumuz noktada öyle gözüküyor ki çoklu evren öngörüleri benzer bir kesinliğe hiçbir zaman erişemeyecek. En ayağı yere basan senaryolarda bile kozmolojik sabit, elektromanyetik kuvvet ya da yukarı kuark kütlesi değerlerinin ancak "çok yüksek olasılıkla" belli aralıklarda bulunduğunu söyleyebiliriz. Daha iyisini başarabilmemiz tamamen şansa kalmış. Ölçme sorununun üstesinden gelmenin yanı sıra, son derece çarpık bir olasılık dağılımına (örneğin, bir gözlemcinin kendisini ölçtüğümüz kozmolojik sabit değerine eşit bir evrende bulması olasılığının yüzde 99,9999 olması gibi) ya da şaşırtıcı ölçüde sıkı korelasyonlara sahip (Örneğin, elektronlar yalnızca kozmolojik sabit değeri 10^{-123}e eşit evrenlerde bulunurlar.), inandırıcı bir çoklu evren kuramı keşfetmemiz gerek. Eğer bir çoklu evren kuramında böylesi özellikler yoksa fiziği diğer bilimlerden ayıran en temel özellikten, kesinlik özelliğinden yoksun olacaktır. Kimi araştırmacılar bunun fizik adına kabul edilemez bir bedel olduğu görüşündedir.

Ben de bir süre aynı görüşteydim, ancak bakış açım zamanla değişti. Ben de her fizikçi gibi, elbette kesin, net, anlaşılır öngörüleri tercih ederim. Ancak, hem ben hem diğer fizikçiler gördük ki evrenin birtakım temel özellikleri bu tür net matematiksel öngörülere olanak tanırken, bir kısmı tanımıyor –ya da en azından, net öngörülerin ötesinde kalan bazı özellikler *olabilir*. 1980'lerin ortalarında ben sicim kuramı üzerine çalışan genç bir doktora öğrencisiyken, kuramın bir gün parçacık kütlelerinin değerlerini, kuvvet şiddetlerini, uzay boyutlarının sayısını ve temel fiziğin daha birçok konusunu açıklayabileceğine ilişkin güçlü bir beklenti vardı. Bunun günün birinde başarılacağına dair umudumu hâlâ koruyorum. Ne var ki bir kuramın denklemlerinin elektron kütlesinin değeri (0,000000000000000000000091095 Planck kütle birimi) ya da üst kuark kütlesinin değeri (0,0000000000000000632 Planck kütle birimi) gibi değerler üretmesini beklemek bana zorlu bir iş gibi gözüküyor. Kozmolojik sabite gelince zorluk daha da büyüyor. VI. Bölüm'ün ilk paragrafında verdiğimiz sayısal değerin, sayfalarca süren hassas işlemler ve bilgisayar çökerten uzun çabalar içeren bir hesap sonucunda kesin biçimde saptanabilmesi– tümüyle imkânsız olmasa da– en iyimser insanın bile iyimserliğini bir noktada zora sokabilir. Kuşkusuz, sicim kuramı bu değerleri hesaplamaya bu konuda çalışmaya başladığım zamanda olduğundan daha yakın görünmüyor. Bu, sicim kuramının ya da başka bir kuramın bir gün başarıya ulaşmayacağı anlamına gelmemeli. Belki de iyimser düşünenlerin hayal güçlerini biraz daha zorlamaları gerek. Ancak fiziğin bugünkü durumunu düşünürsek, yeni yaklaşımları dikkate almak mantıklı. Çoklu evren de böyle bir duruş sergiliyor.

İyi geliştirilmiş bir çoklu evren kuramında standart yaklaşıma göre çok farklı biçimde ele alınması gereken fiziksel özellikler net bir şekilde bellidir: Evrenden evrene değişiklik gösteren özellikler. Yaklaşımın güçlü yanı da bundan kaynaklanıyor. Çoklu evren kuramını kullanarak belirleyebileceğiniz şey, hangi tek-evren bilinmezlerinin çoklu evren yaklaşımında da bilinmezler olarak kaldığı, hangilerinin açıklığa kavuşmuş olduğudur.

Buna en iyi örnek kozmolojik sabittir. Belli bir çoklu evren içinde kozmolojik sabitin değeri değişme gösteriyorsa, hele bir de bu yeterince küçük artışlarla oluyorsa, bir zamanlar esrarengiz olarak adlandırdığımız bu değer şimdi sıradanlaşmıştır. Verdiğimiz örnekte olduğu gibi, nasıl ki çok çeşitli ayakkabı numaralarının bulunduğu bir ayakkabıcıda ayağınıza uygun bir ayakkabıyı mutlaka bulacaksanız, benzer biçimde, koskoca bir çoklu evrende de ölçtüğümüz kozmolojik sabit değerine uygun evrenler mutlaka bulunacaktır. Bilim insanlarının kuşaklar boyu açıklamak için uğraştıkları konuları çoklu evren bir çırpıda açıklayabilir. Çoklu evren kuramı, kozmolojik sabitin tek bir değeri olduğu gibi yanlış bir düşünceyi ortadan kaldırabilir. Bu açıdan, çoklu evren kuramı dikkate değer bir açıklayıcılık gücüne ve bilimsel araştırmaların rotasını derinden etkileme potansiyeline sahiptir.

Ancak böyle bir mantığı kullanırken dikkatli olmak gerekir. Newton, elma yere düştükten sonra, bazı evrenlerde elmanın yere düştüğü, bazılarında yukarı fırladığı bir çoklu evrenin parçası olduğumuzu söyleseydi, böylece yere düşen elma nasıl bir evrende yaşadığımızı başka hiçbir araştırmaya gerek duymadan gerçekten göstermiş olsaydı ne olurdu? Ya da her evrende bazı elmaların yere düştüğünü bazılarının da yukarı fırladığını ve bizim aşağı düşen türü görmemizin sebebinin de yukarı fırlayan türün zaten çoktan fırlayıp uzayın derinliklerine savrulmuş olduğu gibi çevresel bir gerçeğe bağlı olduğunu söyleseydi, ne olacaktı? Bu elbette saçma bir örnektir –böyle düşünmenin, kuramsal ya da başka türden bir mantığı olmadı hiç– ama bu nokta son derece önemli. Bazı bilinmezlerin çoklu evrenin dışında kalan standart kuramlarla açıklanabilme imkânı olsa bile, çoklu evren gibi bir kuramı öne sürerek bilim çok önemli bilinmezlerin aydınlatılmasını baltalayabilir. Gerçekten yapılması gereken çok çalışmak ve daha derin düşünmek olduğu halde, çoklu evren kuramının büyüsüne kapılıp geleneksel yaklaşımları terk etme riskine de girebiliriz.

Çoklu evren mantığının bazı bilim insanlarının tüylerini ürpertmesinin nedeni işte bu potansiyel tehlikedir. Bu nedenle,

ciddiye alınan çoklu evren yaklaşımı çok ciddi bir biçimde kuramsal sonuçlarca yönlendirilmeli, kendisini oluşturan evrenlerle ilgili bilgileri de açık seçik ifade etmelidir. Dikkatli ve sistematik biçimde hareket etmeliyiz. Diğer yandan, bizi çıkmaz sokağa *sürükleyebilir* endişesiyle çoklu evren bakış açısını terk etmek de aynı şekilde riskli olur. Böyle yaptığımız takdirde belki de gerçekliğe gözlerimizi kapatmış olacağız.

VIII. Bölüm

Kuantum Ölçümüyle Çoklu Dünyalar

Kuantum Çoklu Evreni

Paralel evrenlerle ilgili şu ana kadar ele aldığımız en mantıklı değerlendirme, bu konuda kesin bir karara henüz varılmadığını belirten değerlendirmedir. Sonsuz uzaysal alan, ebedi şişme, zar evrenler, döngüsel kozmoloji, sicim kuramının manzarası... Tüm bu kafa karıştırıcı fikirler bir dizi bilimsel gelişmenin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Ancak hiçbiri, aynen bağlı bulundukları çoklu evren yaklaşımı gibi, kesinliğe kavuşmamıştır. Pek çok fizikçi çoklu evren konularında farklı –destekleyici ya da karşıt– görüşlere sahipse de çoğu bu konuların bilimin bir parçası olup olmayacağının gelecekteki kuramsal, deneysel ve gözlemsel araştırmalar sonucunda belli olacağına inanmaktadır.

Şimdi ele alacağımız kuantum mekaniğine dayanan çoklu evren modeli çok farklı bir biçimde yorumlanmaktadır. Pek çok fizikçi şimdiden bu çoklu evren modeliyle ilgili son kararını vermiş durumdadır fakat sorun şu ki verdikleri son kararda hemfi-

kir değildirler. Görüş farklılıkları kuantum mekaniğinin olasılıksal çerçevesinden, olağan deneyimlerin kesin gerçekliğine geçişin yarattığı derin sorunlardan kaynaklanmaktadır.

Kuantum Gerçeklik

1954'te, kuantum kuramının Niels Bohr, Werner Heisenberg ve Erwin Schrödinger gibi öncüler tarafından ortaya atılmasından yaklaşık otuz yıl sonra, Princeton Üniversitesi'nde adı daha önce pek duyulmamış Hugh Everett III adında bir doktora öğrencisi şaşırtıcı bir bulguya imza attı. Kuantum mekaniğinin babası sayılan Bohr'un doldurmaya çalıştığı ama başarılı olamadığı önemli bir boşluğu doldurmaya çalışırken, Everett, kuramın doğru biçimde anlaşılabilmesi için büyük bir paralel evrenler ağının gerekebileceğini ortaya çıkardı. Everett'in çalışması, matematiksel temellere dayanan ve bir çoklu evrenin parçası olabileceğimizi öne süren ilk görüşlerden biriydi.

Everett'in zaman içinde kuantum mekaniğinin Çoklu Dünyalar yorumu olarak adlandırılan bu yaklaşımı inişli çıkışlı çeşitli aşamalardan geçti. Ocak 1956'da, önerdiği modelin matematiksel hesaplamalarını tamamlayan Everett, doktora tezini danışmanı John Wheeler'a teslim etti. Yirminci yüzyıl fiziğinin en tanınmış düşünürlerinden olan Wheeler bu çalışmadan büsbütün etkilenmişti. Ne var ki o yılın Mayıs ayında Wheeler Kopenhag'da Bohr'u ziyaretinde Everett'in fikirlerinden söz edince ortam buz gibi oldu. Bohr ve onun yolunu izleyenler kuantum mekaniğine ilişkin kendi görüşlerini mükemmele ulaştırmak için yıllarını vermişti. Onlara göre, Everett'in ortaya attığı soruların ve bu soruların nasıl irdelenmesi gerektiğiyle ilgili önerdiği alışılmamış yöntemlerin hiçbir değeri yoktu.

Wheeler'ın Bohr'a sonsuz saygısı vardı; bu nedenle bu kıdemli meslektaşını yatıştırmaya özel ihtimam gösterdi. Eleştiriler nedeniyle, Wheeler, Everett'e doktora derecesi vermeyi geciktirdi ve tezini önemli ölçüde değiştirmesi için baskı yaptı. Everett'in Bohr'un yöntemini eleştirdiği yerleri tezinden çıkarması ve elde ettiği sonuçların kuantum kuramının gelenek-

sel formülasyonunu açıklığa kavuşturma ve genişletme amacını taşıdığını söylemesi gerekiyordu. Everett buna karşı çıktı ama o sırada Savunma Bakanlığı'nda doktora derecesini şart koşan bir iş teklifini çoktan kabul etmiş bulunuyordu (kısa süre sonra burada Eisenhower ve Kennedy yönetimlerinin nükleer silah politikalarının perde arkasında önemli bir rol oynayacaktı); bu nedenle istemeye istemeye denileni yaptı. 1957 yılının Mart ayında Everett tezinin epeyce kısaltılmış bir versiyonunu teslim etti; Nisan ayında tez Princeton tarafından kabul edildi ve Temmuz ayında da *Reviews of Modern Physics* dergisinde yayınlandı.[1] Ancak Everett'in, Bohr ve taraftarlarının dikkate almadığı kuantum kuramı yaklaşımı ve orijinal tezinde dile getirdiği halde susturulan görüşleri nasıl göz ardı edildiyse, makalesi de öyle göz ardı edildi.[2]

Bundan on yıl sonra, tanınmış fizikçi Bryce DeWitt, Everett'in çalışmasını bir kenarda unutulup gitmekten kurtardı. DeWitt, Everett'in matematiksel yaklaşımlarını daha öteye taşıyan doktora öğrencisi Neill Graham'ın bulgularından etkilenerek kuantum kuramında Everett'in yeni bakış açısını yüksek sesle ifade edip savunan kişi oldu. DeWitt, Everett'in görüşlerini küçük ama etkili bir grup fizikçiye tanıtan bir dizi teknik makale yazmanın yanı sıra, 1970'te *Physics Today* dergisinde, bu görüşleri çok daha geniş bir kitleye anlatan genel bir özet yazdı. Everett'in 1957'de yazdığı ve başka dünyalardan bahsetmekten kaçındığı makalesinin aksine, DeWitt yazısında bu düşüncenin altını çizdi ve Everett'in bulgularından devasa bir "çoklu evren"in parçası olduğumuzu öğrendiğinde nasıl bir "şaşkınlık" yaşadığını alışılmamış bir içtenlikle anlattı. Makale, ortodoks kuantum ideolojisini kurcalama isteği giderek artan fizik çevrelerinde büyük bir yankı uyandırarak halen devam etmekte olan ve kuantum yasalarının hükmü sürdükçe –ki biz süreceğine inanıyoruz– gerçekliğin nasıl tanımlanması gerektiğini konu alan tartışmaları başlatmış oldu.

Sahneyi şöyle kuralım:

Aşağı yukarı 1900 yılı ile 1930 yılı arasında bilimsel anlayışın farklılaşması büyük bir kargaşaya yol açtı. Bu kargaşa ise sezgi-

ye, sağduyuya ve yeni öncülerin "klasik fizik" olarak adlandırmaya başladığı, o güne dek kabul görmüş bilimsel yasalara acımasız bir şekilde saldırılması sonucuna yol açtı. "Klasik fizik" terimi vaktiyle saygın, dolaysız, tatmin edici ve öngörü gücü olan bir gerçeklik tanımına gösterilen saygının, verilen değerin ifadesiydi. Siz şimdi bana herhangi bir şeyin nasıl olduğunu söyleyin, ben de klasik fiziğin yasalarını kullanarak size o şeyin gelecekte herhangi bir zaman diliminde nasıl olacağını ya da geçmişte nasıl olduğunu söyleyeyim. Kaos (teknik anlamda: Şu an herhangi bir şeyin durumuyla ilgili küçük değişiklikler ilerisi için yapılan tahminlerde büyük hatalara yol açabilir.) ya da denklemlerdeki karmaşıklıklar gibi nüanslar en basit durumlar için bile size vereceğim yanıtları zorlaştırabilir, ancak yasaların kendilerinin kesin bir geçmiş ve gelecek üzerinde bir mengene misali sıkı bir kavrama sağladığı konusunda tereddüt yoktur.

Kuantum devrimi klasik bakış açısını bir kenara bırakmamızı istiyordu çünkü yeni bulgular klasik fiziğin bariz bir şekilde yanlış olduğuna işaret ediyordu. Dünya ya da ay gibi büyük nesnelerin ya da kayalar, toplar gibi gündelik yaşamımıza ait nesnelerin hareketleri söz konusu olduğunda, klasik fizik öngörü ve tanımlamalarıyla gayet başarılı olmaktadır. Ama moleküllerin, atomların ve atomaltı parçacıklarının mikro ölçekteki dünyasına geçin ve klasik yasaların işe yaramadığını görün. Aynı şekilde düzenlenen aynı parçacıklar üzerinde aynı deneyleri yaparsanız, klasik fiziğin mantığıyla hiç uyuşmayacak biçimde, genelde aynı sonuçları elde *etmezsiniz.*

Örneğin, aynı laboratuvar deneyi için hazırlanmış ve her birinin içerisinde birer elektron bulunan 100 tane birbirinin aynısı kutularınız var. Tam on dakika sonra siz ve 99 arkadaşınız 100 elektronun her birinin konumunu ölçüyorsunuz. Newton, Maxwell ve hatta genç Einstein'ın tahmin edeceğinin aksine –hatta hayatları üzerine bahse bile girebilirlerdi– yapılan 100 ölçüm aynı sonucu vermeyecektir. Aslında, ilk bakışta sonuç rastgele gözükecektir, bazı elektronlar kutunun ön sol köşesinde, bazıları üst sağ arka tarafta, bazıları ortada bir yerde ve benzeri.

Fiziğe son derece kesin ve titiz öngörülere sahip bir disiplin özelliği veren düzenlilikler ve örüntüler, sadece aynı deneyi içinde elektron bulunan 100 kutuyla tekrar tekrar uygularsanız açığa çıkar. Diyelim ki bunu yaptınız, görmeniz beklenen şey şudur: İlk 100 kişilik ölçümünüzde eğer elektronların yüzde 27'sini sol alt köşede, yüzde 48'ini sağ üst köşede, yüzde 25'ini kutunun ortasına yakın bir yerlerde bulduysanız, ikinci ölçümünüzde, üçüncü ölçümünüzde, dördüncü ölçümünüzde ve devam eden tüm ölçümlerinizde de benzer sonuçları bulmalısınız. Buna göre, düzenlilik tek seferlik hiçbir ölçümle ortaya çıkmaz ve belirli bir elektronun bir sonraki ölçümde nerede olacağını kestiremezsiniz. Düzenlilik ancak yapılacak pek çok ölçümden sonra elde edilecek sonuçların *istatistiksel dağılımı* sonucu kendini gösterir. O halde, düzenlilik bir elektronun belli bir konumda bulunma durumunun olabilirliğini, yani *olasılığını* ifade eder.

Kuantum mekaniği kurucularının nefes kesen bir başarısı, klasik fiziğe özgü mutlak öngörüleri bir yana bırakan ve bunun yerine bahsi geçen olasılıklara dair öngörülerde bulunan matematiksel bir formalizm geliştirmek olmuştur. Schrödinger'in 1926'da yayınladığı bir denklemden (ayrıca Heisenberg'in 1925'te yazdığı daha hantal bir denklemden de) yola çıkarak fizikçiler herhangi bir şeyin şu an nasıl olduğu bilgisini girer ve o şeyin gelecekte herhangi bir zamanda bu, şu ya da bir başka biçimde olacağına ilişkin olasılıkları hesaplayabilirler.

Fakat benim şu basit elektron örneğime bakıp yanılmayın. Kuantum mekaniği yalnızca elektronlara değil, her tür parçacığa uygulanır ve ayrıca size bu parçacıkların yalnızca konumlarını değil, hızlarını, açısal momentumlarını, enerjilerini, şu anda vücudunuzda akıp giden nötrino yağmurundan çok uzak yıldızların çekirdeklerinde yer alan atom füzyonlarına kadar çok çeşitli durumlarda nasıl davrandıklarını da söyler. Böylesi geniş bir alanda kuantum mekaniğinin olasılık öngörüleri deneysel verilerle örtüşür. Daima. Bu fikirlerin gelişmeye başladığı zamandan günümüze kadar geçen yaklaşık seksen yıldan fazla sürede,

bulguları kuantum mekaniğinin öngörülerine ters düşen bir tane bile deney ya da astrofizik gözlem olmamıştır.

Olasılıklar üzerine yapılanmış yepyeni bir gerçeklik anlayışıyla, binlerce yıllık ortak deneyimin oluşturduğu kavrayışlara köklü değişikliklerin getirilmesi kıyas kabul etmez entelektüel bir başarıdır. Ancak öne sürüldüğü günden bu yana kuantum mekaniğinin başına musallat olan rahatsız edici bir ayrıntı var –sonunda paralel evrenlere kapı aralayan bir ayrıntı. Bu ayrıntıyı daha iyi anlayabilmek için kuantum formalizmine biraz daha yakından bakalım.

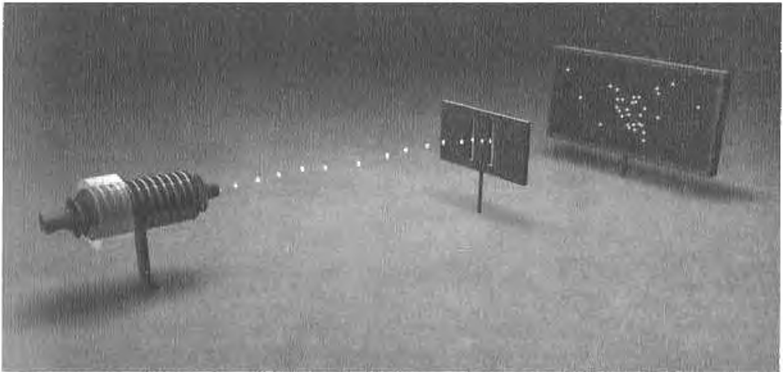
Seçenekler Bilmecesi

İki Amerikalı fizikçi Clinton Davisson ve Lester Germer, Nisan 1925'te Bell Laboratuvarları'nda deney yaparken, içinde sıcak bir nikel parçası bulunan cam bir tüp aniden patlayıverdi. Davisson ve Germer bu metalin atomik özelliklerini incelemek için günlerdir nikel parçalarına elektron bombardımanı yapmaktaydılar; deneysel çalışmalar yürüten hemen herkesin başına gelebilecek bir olay olsa da tüpün bu şekilde patlaması canlarını sıktı. Davisson ve Germer cam kırıklarını temizledikten sonra nikelin patlama esnasında oksitlenmiş olduğunu fark ettiler. Bu o kadar da önemli değildi. Sonuçta, nikel örneğini ısıtıp, üzerindeki mat satıhtan kurtulup yeniden başlayabilirlerdi. Nitekim öyle de yaptılar. Ancak, yeni bir nikel örneği almak yerine, ellerindeki metalin yüzeyini temizleyip deneye yeniden başlamaları onları hiç beklemedikleri bir sonuca götürdü. Temizlenmiş nikel parçasına yeniden elektron bombardımanı yapmaya başladıklarında elde ettikleri sonuç kendilerinin ya da bir başkasının o zamana kadar karşılaştığı sonuçlardan tamamen farklıydı. 1927'ye gelindiğinde Davisson ve Germer'ın hızla gelişmekte olan kuantum kuramına çok önemli bir katkıda bulundukları anlaşılmıştı. Tesadüfen yapmış oldukları bu keşif 1937'de Nobel ödülü kazandı.

Davisson ve Germer'in keşifleri artık çok eskilerde kalmış olsa da hâlâ kuantum kuramının temel fikirlerini tanıtan bir yöntem olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İşin aslı şöyle: Davisson ve Germer üzeri matlaşan nikeli yeniden ısıttıkları zaman sa-

yısız küçük nikel kristalinin birleşip daha az sayıda daha büyük nikel kristalleri oluşturmasına yol açtılar. Sonrasında, elektron demeti, artık her yerde tamamen aynı niteliğe sahip bir nikel yüzeyden yansımayacak, fakat bunun yerine daha büyük nikel kristallerinin merkezlendiği bütünlük arz eden birkaç bölgeden sekip geri dönecektir. Deneylerinin, Şekil 8.1'deki düzenekte görüleceği üzere, daha basit bir örneği olan elektronların iki dar yarığı olan bir engele ateşlenmesi deneyi, deneylerindeki temel fizik kurallarının altını çizmektedir. Yarıkların birinden ya da ötekinden çıkan elektronlar bir nikel kristalinden ya da yanındakinden sekip geri dönen elektronlar gibidir. Bu haliyle örneklendiğinde, Davisson ve Germer aslında günümüzde *çift-yarık deneyi* olarak adlandırılan deneyin ilk örneğini de gerçekleştirmişlerdir.

Davisson ve Germer'ın bu şaşırtıcı bulgularını daha iyi anlamak için söz konusu yarıklardan sağ ya da soldakini kapattığınızı ve geçen elektronları dedektör ekranında tek tek yakaladığınızı varsayın. Bunlar gibi bir sürü elektron ateşlendikten sonra, dedektör ekranları Şekil 8.2a ve Şekil 8.2b'deki gibi gözükecektir. Kuantum bakış açısı olmayan, mantıklı bir gözlemci her iki yarık açık olduğunda, verilerin bu iki sonucun birleşimi oldu-

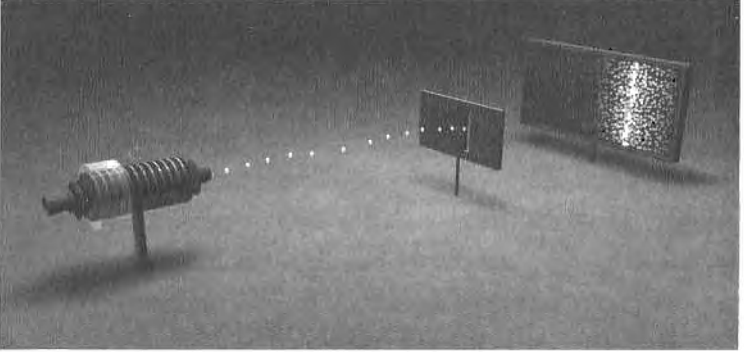


Şekil 8.1 Davisson ve Germer deneyinin temel mantığı, bir "çift-yarık" deneyiyle anlaşılabilir. Bu deneyde elektronlar, üzerinde iki dar yarık bulunan bir engele ateşlenirler. Davisson ve Germer deneyinde iki elektron demeti, yüzeye düşen elektronların birbirine komşu nikel kristallerinden sekip geri dönmesi sonucu oluşur; çift-yarık deneyinde ise benzer iki demet, komşu yarıklardan geçen elektronlar tarafından üretilmektedir.

(a)



(b)



(c)



Şekil 8.2 (a) Yalnızca sol yarık açıkken elektronlar ateşlenince elde edilen veriler. **(b)** Yalnızca sağ yarık açıkken elektronlar ateşlenince elde edilen veriler. **(c)** Her iki yarık da açıkken elektronlar ateşlenince elde edilen veriler.

ğunu düşünecektir. Ancak, şaşırtıcı olan şu ki sonuç hiç de öyle *değildir.* Davisson ve Germer'ın bulduklarına göre, sonuç, aynı Şekil 8.2c'de olduğu gibi, açık ve koyu renkli şeritler şeklinde-

dir, bu da sırasıyla elektronların konumlandığı ya da konumlanmadığı yerleri gösterir.

Bu sonuçlar, tuhaf bir biçimde beklenilenden sapmaktadır. Koyu renkli şeritler yalnızca sağ ya da yalnızca sol yarık açık tutulduğunda elektronların bol miktarda gözlendiği yerlerdir (Şekil 8.2a ve Şekil 8.2b'de bu yerler *parlaktır.*). Ancak bu koyu renk şeritler, her iki yarık da açık tutulduğunda elektronların ulaşamadığı yerlerdir. *Demek ki sol yarığın varlığı, sağ yarıktan geçen elektronların konduğu olası yerleri değiştirmektedir (ya da tam tersi).* Bu da gerçekten şaşırtıcı bir durumdur. Elektron gibi son derece küçük bir parçacık ölçeğinde, yarıkların arasındaki mesafe son derece büyüktür. Bu nedenle, elektron bir yarıktan geçerken diğer yarığın olması ya da olmaması, sonuçlarda izlenen o çok önemli etki bir tarafa, nasıl olur da bir etki oluşturur? Sanki ofis binanıza her gün bir kapıyı kullanarak giriyorsunuz, ancak yönetim binanın öbür tarafına ikinci bir kapı yaptırdığında, artık ofisinize hiç ulaşamıyorsunuz.

Peki, bundan nasıl bir sonuç çıkarmalıyız? Çift-yarık deneyi bizi akıl almaz bir sonuca götürmektedir. Hangi yarıktan geçerse geçsin, her bir elektron sanki her iki yarığın varlığından da "haberdar" gibidir. Sanki başlı başına her bir elektronla ilişkili bir şey, her bir elektrona bağlı ya da her bir elektronun parçası olan bir şey bu iki yarıktan da etkilenmektedir.

Peki, bu ne olabilir?

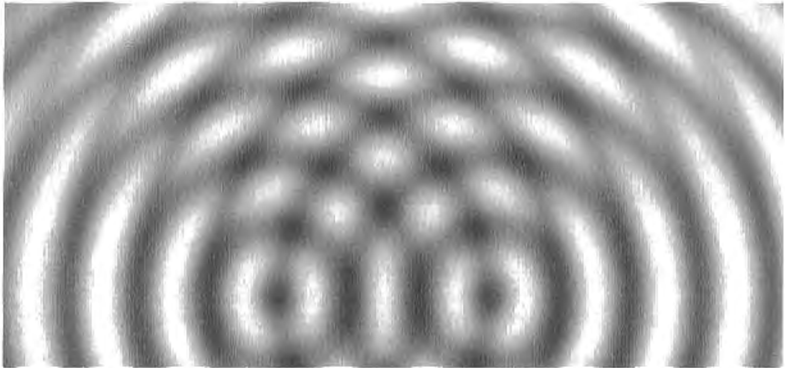
Kuantum Dalgaları

Bir yarıktan geçerken elektronun öbür yarığı "bilmesi" konusuna ipucu olması açısından, Şekil 8.2c'yi daha yakından inceleyelim. Açık-koyu-açık-koyu desen, bir fizikçi için bebeğin annesinin yüzünü tanıması kadar bilinen bir şeydir. Ortaya çıkan bu desen –sakın şaşırmayın– *dalgalardır.* Bir havuza taş atıp giderek yayılan ve birbirine karışan dalgaları gördüyseniz, ne demek istediğimi anlarsınız. Bir dalganın tepesi başka bir dalganın tepesiyle üst üste geldiğinde ortaya çıkan dalganın yüksekliği büyüktür; birinin çukuru diğerinin çukuruyla üst üste geldiğinde

birleşik dalganın girintisi derin olur ve hepsinden önemlisi, bir dalganın tepesi diğerinin çukuruyla üst üste geldiğinde dalgalar birbirlerini götürür ve suyun yüzeyi durgun kalır. Bu durum Şekil 8.3'te gösterilmektedir. Eğer şeklin üzerine yüzeydeki her bir noktada suyun çalkalanmasını kayıt edecek bir dedektör ekranı –çalkalanma ne kadar büyük olursa ekrandaki görüntüler de o kadar parlak olacak şekilde bir kayıt yapan bir dedektör– yerleştirmiş olsaydınız sonuçta, ekranda bir dizi değişen parlak ve karanlık bölgeler görürdünüz. Parlak bölgeler dalgaların birbirlerini kuvvetlendirdikleri yerlerdir ve daha fazla çalkantı meydana getirirler; karanlık bölgelerse dalgaların birbirlerini götürdüğü ve çalkalanmaya yol açmadığı yerlerdir. Fizikçiler örtüşen dalgaların birbirleriyle *girişimde bulunduğunu* söylemekte ve açık-koyu-açık verinin oluştuğu görüntüyü *girişim deseni olarak* adlandırmaktadırlar.

Bu örneğin Şekil 8.2'ye olan benzerliği açıktır, bu nedenle elektron verilerini açıklarken dalgaları aklımıza getirebiliriz. Güzel. Bu sadece bir başlangıç. Ancak ayrıntılar hâlâ bulanık. Ne türden dalgalar? Neredeler? Elektron gibi parçacıklarla ne alakaları var?

Bir sonraki ipucu, başta üzerinde durduğum deneysel gerçekten gelmektedir. Parçacıkların hareketleriyle ilgili çok sayıda ve-



Şekil 8.3 İki su dalgası birbirleriyle örtüşünce, birbirleriyle "girişirler" ve birbirini takip eden az ya da çok çalkalanan bölgeler meydana getirerek bir girişim deseni oluştururlar.

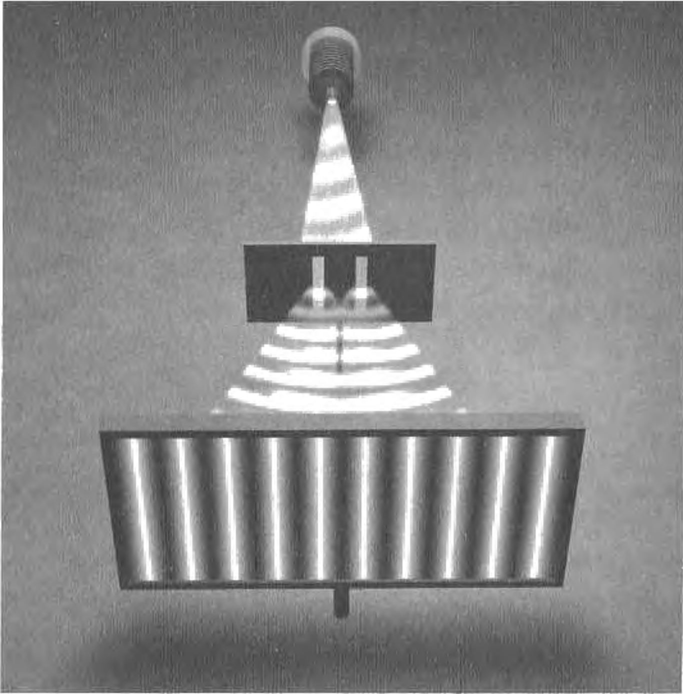
ri, düzenliliklerin yalnızca istatistiksel olarak ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Bire bir aynı parçacıklar üzerinde yapılan aynı ölçümler, elektronların genelde farklı noktalarda konumlandıklarını gösterecektir; ancak bu tür pek çok ölçüm, parçacıkların verilen herhangi bir noktada bulunma olasılığının ortalama olarak aynı olduğunu göstermektedir. 1926'da Alman fizikçi Max Born bu iki ipucunu bir araya getirerek yaklaşık otuz yıl sonra kendisine Nobel ödülü getirecek atılımı gerçekleştirmiştir. Dalgaların bir rolü olduğuna dair kanıtımız vardır. Olasılıkların rol oynadığına dair kanıtımız da vardır. Born, bu nedenle, bir parçacıkla ilişkili olan dalganın *olasılık dalgası* olduğunu öne sürmüştür.

Bu daha önce görülmemiş, muhteşem bir katkıydı. Arkasındaki düşünce ise şuydu: Bir parçacığın hareketini incelerken bu hareketi hızla fırlatılmış bir kayanın buradan şuraya hareketi gibi düşünmemeliyiz. Bunun yerine, parçacık hareketini buradan şuraya ine çıka ilerleyen bir dalga gibi ele almalıyız. Dalga değerlerinin büyük olduğu yerler, yani tepe ve çukur noktaları, parçacığın en çok bulunma olasılığı olan yerlerdir. Olasılık dalga değerlerinin küçük olduğu yerlerde ise parçacığın bulunma olasılığı oldukça zayıftır. Dalga değerinin sıfırlandığı yerlerde ise parçacık bulunmayacaktır. Dalga hareketi devam ettikçe değerler değişecek; bazı yerlerde yükselecek, bazı yerlerde düşecektir. İnişli çıkışlı değerleri yine inişli çıkışlı olasılıklar olarak yorumladığımız için dalga haklı olarak olasılık dalgası olarak adlandırılır.

Durumu ayrıntısıyla anlayabilmek için, çift-yarık deney verilerini düşünün. Bir elektron Şekil 8.2c'deki engele doğru giderken, kuantum mekaniği bize bu elektronu Şekil 8.4'teki gibi inişli çıkışlı bir dalga olarak düşünmemizi söylemektedir. Dalga engelle karşılaştığında, iki dalga parçası yarıktan geçip inişli çıkışlı bir biçimde dedektör ekranına doğru ileriye hareket eder. Bir sonraki adımda ne olduğu önemlidir. Tıpkı birbirleriyle örtüşen su dalgaları gibi, bu iki yarıktan çıkan olasılık dalgaları da örtüşür ve birbirleriyle girişimde bulunurlar; bunun sonucu olarak da Şekil 8.3'tekine çok benzeyen birleşik bir biçim ortaya çı-

kar: kuantum mekaniğine göre, elektronun nerede konumlanacağını belirleyen yüksek ve düşük olasılıkların desenine karşılık gelen yüksek ve düşük değerler deseni. Elektronlar birbiri ardına ateşlendiğinde, elektronların yer alabileceği tüm konumlar bu olasılık profiline uygun olur. Çoğu elektron olasılığın yüksek olduğu yerlerde, az bir bölümü düşük olan yerlerde konumlanacaktır. Olasılığın sıfıra düştüğü yerlerde ise elektron konumlanmayacaktır. Bu sürecin sonunda, Şekil 8.2c'de görülen parlak ve karanlık şeritler ortaya çıkacaktır.[3]

Kuantum kuramı bu verileri böyle açıklamaktadır. Anlatımlara göre, her elektron her iki yarığı da "bilir" çünkü her elektronun olasılık dalgası her iki yarıktan da geçer. Elektronların nerede konumlanacağı olasılığını belirleyen, bu iki kısmi dalganın birlikteliğidir. Bu nedenle, ikinci bir yarığın varlığı sonuçları etkiler.

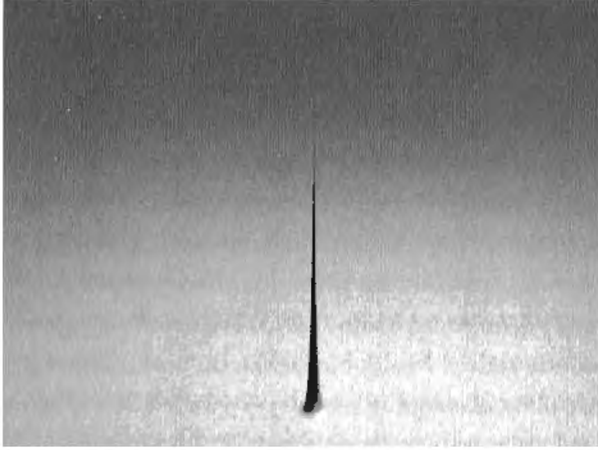


Şekil 8.4 Bir elektronun hareketini inişli çıkışlı olasılık dalgası bağlamında tanımladığımızda, girişim olayının verileri açıklanır.

O Kadar da Hızlı Değil!

Daha çok elektronlar üzerinde durmuş olsam da doğanın temel elemanları üzerinde yürütülen bu gibi deneylerin hepsinde aynı olasılık dalgası görüntüsü söz konusudur. Fotonlar, nötrinolar, müonlar, kuarklar –tüm temel parçacıklar– olasılık dalgasıyla tanımlanır. Ancak, biz zaferi ilan etmeden önce, karşımızda hiç zaman kaybetmeden üç soru beliriyor. Bunlardan ikisi basit sorulardır. Üçüncüsü epey zorludur. Everett 1950'lerde bu zor-

(a)



(b)



Şekil 8.5 (a) Makroskobik cisimlerde olasılık dalgası genellikle dar bir tepe noktasına sahiptir. **(b)** Mikroskobik cisimlerde, söz gelimi, tek bir parçacık için olasılık dalgası geniş bir yayılım gösterir.

lu soruya yanıt aramış ve çabaları kendisini paralel dünyaların kuantum versiyonuna götürmüştür.

Birinci soru şudur: Eğer kuantum kuramı doğruysa ve dünya olasılıklar üzerine yapılanmışsa, Newton'un olasılıklarla bağlantılı olmayan kuramı, beyzbol topundan gezegenlere ve yıldızlara kadar her şeyin hareketi üzerine öngörülerde bulunmakta nasıl bu denli başarılı olabilmektedir? Bunun yanıtı, büyük cisimler söz konusu olduğunda olasılık dalgalarının genellikle (biraz sonra göreceğimiz gibi her zaman olmasa da) belirli bir yapıya sahip olmasıdır. Şekil 8.5a'da gösterildiği gibi olağanüstü sivri bir yapıları vardır; bu da cismin dalganın zirve yaptığı noktada konumlanmış olduğuna ilişkin yüzde 100'den biraz eksik yüksek bir olasılığa, başka bir yerde konumlanmış olmasına ilişkin ise yüzde 0'a yakın son derece küçük bir olasılığa işaret eder.[4] Bunun yanı sıra, kuantum yasalarının da gösterdiği üzere, bu tür dar dalgaların tepe noktaları, Newton'un denklemlerinde gösterilen yörüngeleri bire bir takip ederler. Bu durumda, Newton yasaları bir beyzbol topunun yörüngesini kesin olarak öngörürken, kuantum kuramı söyleminde sadece küçük bir farkla, bu topun Newton'un belirttiği yerde olma olasılığının neredeyse yüzde 100 olduğunu ve olmama olasılığının ise neredeyse yüzde 0 olduğunu ifade eder.

Aslında, "biraz eksik" ya da "yakın" gibi sözcükler fiziğe haksızlık ediyor. Makroskobik bir cismin Newton'un öngörülerine ters düşmesi o denli zayıf bir olasılıktır ki son birkaç milyar yıldır evreni yakinen takip ediyor olsaydınız, tersi bir duruma şahit olmanız son derece düşük bir olasılık olurdu. Ancak kuantum kuramına göre, genel olarak bir cisim ne kadar küçükse, olasılık dalgası o kadar geniş bir yayılım gösterecektir. Örneğin, tipik bir elektron dalgasının, Şekil 8.5b'teki gibi, birden fazla konumda olma olasılığı yadsınamaz büyüklüklerde olabilir. Bu durum, Newtoncu anlayışa çok yabancıdır. İşte bu nedenden ötürü, gerçekliğin olasılıkçı yapısı ancak mikro alanlarda ön plana çıkar.

İkinci soru ise şudur: Kuantum mekaniğinin dayandığı bu olasılık dalgalarını görebilir miyiz? Örneğin, Şekil 8.5b'de şematik olarak gösterilen ve tek bir parçacığın çok çeşitli yerler-

de olabilmesi gibi bizim pek de aşina olmadığımız bu olasılıklar dünyasına doğrudan erişmenin bir yolu var mıdır? Hayır. Bohr ve arkadaşları tarafından geliştirilen ve onların şerefine *Kopenhag yorumu* olarak anılan Kuantum mekaniğinin standart yaklaşımına göre, ne zaman bir olasılık dalgasını görmeye çalışsanız, girişiminiz yapmaya çalıştığınız gözlem tarafından anında engellenir. Elektronun olasılık dalgasına baktığınız zaman –ki "bakmak" burada "konumunu ölçmek" anlamındadır– elektron aniden hazır duruşa geçerek ve belli bir konuma sıkışarak karşılık verir. Buna bağlı olarak olasılık dalgası, Şekil 8.6'da olduğu gibi, başka bir noktada yüzde 0 değerine düşerken, o noktada yüzde 100'lük bir değere yükselir. Başka yere bakın, iğne inceliğindeki olasılık dalgası birden dağılır, bu da gösterir ki bir kez daha elektronu farklı yerlerde bulma olasılığı makul bir oranda vardır. Elektrona tekrar dönüp bakın, elektronun dalgası tekrar "çöker" ve olabileceği farklı yerler olasılığını ortadan kaldırırcasına kendini yine tek bir noktada konumlanmış gibi gösterir. Kısacası, olasılık sisi onu görmeye çalıştığınız her denemenizde âdeta yok olur –çöker– ve gündelik gerçeklik yerini alır. Şekil 8.2c'deki dedektör ekranı tipik bir örnek sunmaktadır: Dedektör, elektronun olasılık dalgasını ölçmekte ve bu nedenle de elektronda aniden çökme meydana gelmektedir. Dedektör nedeniyle elektron konumlanabileceği olası başka noktalara dair mevcut seçeneklerden feragat eder ve belli bir nok-

ÖLÇÜM

Şekil 8.6 Kuantum mekaniğinde Kopenhag yaklaşımına göre, bir parçacığın olasılık dalgası ölçüldüğünde ya da gözlemlendiğinde bir nokta hariç diğer tüm noktalarda aniden çöker. Böylece, parçacığın olası tüm konumları tek kesin bir konuma iner.

tada sabitlenmek zorunda kalır. Bu da ekranda ufak bir nokta olarak görülür.

Bu açıklama sizi ikna etmezse, bunu çok iyi anlayabilirim. Kuantum dogması bir aldatmaca gibi görünebilir. Sonuçta, olasılık dalgaları üzerine kurulu, gerçeklikle ilgili yepyeni bir resim çizen bir kuram ortaya çıkıyor, sonra hemen ardından, bu olasılık dalgalarının görülemeyeceğini söylüyor. Lucille'in sarışın olduğunu iddia ettiğini düşünün, ama ne zaman birisi ona baksa Lucille kızıl saçlı oluveriyor. Fizikçiler acayip olmakla kalmayıp yanı sıra hiç de sağlam gözükmeyen bir kuramı neden kabul etsinler ki?

Neyse ki bütün bu gizemli ve saklı özelliklerine rağmen, kuantum mekaniği sınanabilir bir kuramdır. Kopenhagcılara göre, bir olasılık dalgası belli bir konumda ne kadar büyük olursa, dalga çöktüğünde o dalganın tek kalan iğne gibi sivri tepesi –dolayısıyla elektronun kendisi– orada olacaktır. Bu durum bazı tahminlerde bulunabilmeyi sağlar. Belli bir deneyi tekrar tekrar yapın, bir parçacığı çeşitli konumlarda kaç kez saptadığınızı sayın, sonra da gözlemlediğiniz frekansların olasılık dalgası tarafından yön verilmiş olasılıklarla ne kadar uyumlu olduğuna bakın. Söz gelimi, *burada* dalga, *orada* olduğundan 2,874 kat daha büyükse, parçacığın *burada* bulunma olasılığı *orada* bulunma olasılığından 2,874 kat daha fazla mıdır? Bu gibi öngörüler inanılmaz derecede başarılı olmuştur. Kuantum bakış açısı bir aldatmaca gibi görünebilir, fakat olağanüstü sonuçlarına karşı çıkmak oldukça zordur.

Ama imkânsız da değildir.

Bu da bizi üçüncü ve en zor soruya götürür. Şekil 8.6'da görüldüğü gibi, ölçüm esnasında kuantum dalgalarının çökmesi, kuantum kuramında Kopenhag yaklaşımının can alıcı noktasıdır. Pek çok fizikçi, gerek kuramın başarılı tahminleri gerekse Bohr'un alandaki ağırlığı nedeniyle kuramı kabul etmişse de kuramda rahatsızlık uyandıran bir özellik vardır. Aslında Schrödinger'in kuantum mekaniğinin matematiksel motoru sayılan denklemi, zaman içinde olasılık dalgası biçiminin nasıl değiştiğini belirler. Örneğin Şekil 8.5b'deki gibi bir kuantum dal-

gası biçimini ele alalım. Schrödinger'in denklemiyle bir dakika, bir saat ya da herhangi bir zaman sonra bu dalganın nasıl bir biçim alacağını hesaplayabiliriz. Ancak denklemi biraz incelediğimiz zaman, Şekil 8.6'da görülen değişimin, tıpkı bir dans topluluğunun bütün elemanları bir sahne gösterisi sırasında aynı anda yere çömelirken içlerinden birinin yanlışlıkla çömelmeyi unutup ayakta kalması gibi, yani dalganın yalnızca bir tek nokta hariç ani biçimde çökmesi durumunun, Schrödinger'in denkleminden çıkamayacağı anlaşılır. Dalgalar tabii ki iğne gibi sivri biçimlere sahip olabilirler; sivrilmiş dalgalardan biraz sonra daha çok bahsedeceğiz. Ancak, bunlar Kopenhag yaklaşımının öngördüğü yolla sivri bir yapı haline *gelemezler*. Açıkçası matematik buna izin vermez. (Nedenini biraz sonra göreceğiz.).

Bohr, buna hantalca bir çare geliştirmişti: Bakmadığınız ya da ölçüm yapmadığınız zaman olasılık dalgalarının evrilmesini Schrödinger'in denklemine göre açıklayın; dalgaya baktığınız zamansa Schrödinger'in denklemini bir kenara atın ve gözlem yapma girişiminizin dalgayı çökerttiğini *beyan edin*.

Bu çözümün bir işe yaramamasını, rastgeleliğini ve matematiksel olarak açıklanamamasını bir tarafa bırakın, *anlaşılır* bile değildir. Örneğin, "bakma" ya da "ölçme" ile neyin kastedildiğini net olarak açıklamaz. Bu ölçümü bir insan mı yapmalıdır? Ya da Einstein'ın bir zamanlar sorduğu gibi, bir farenin yan gözle kısacık bir göz atması bile "bakma" sayılacak mıdır? Ölçüm bilgisayarla yapıldığında ya da bir virüsün ya da bakterinin etkisi söz konusu olduğunda ne olacaktır? Bu türden "ölçümler" olasılık dalgasını çökertecek midir? Bohr, âdeta aralarına bir çizgi çekerek, Schrödinger'in denkleminin uygulanabileceği atom ve atomaltı parçacıklar gibi küçük birimlerle, bu denklemin işe yaramadığı, örneğin, deney yapan araştırmacılar ve kullandıkları araç gereçler gibi büyük birimleri, birbirlerinden ayrı tuttuğunu açıklamış; ancak bu çizginin tam olarak nereden çizilmesi gerektiğini söylememiştir. İşin gerçeği, söyleyememiştir. Deneysel çalışma yürüten araştırmacılar, her geçen yıl, Schrödinger denkleminin herhangi bir değişikliğe gidilmesine gerek kalmadan, gittikçe daha geniş

parçacık kümeleri üzerinde uygulanabildiğini kanıtlıyorlar. Buna göre, vücudumuzu oluşturan parçalara ya da başka nesnelere varana kadar daha büyük parçacık kümelerini de açıklayabileceğine inanmak için tüm sebepler mevcuttur. Kuantum mekaniğinin matematiği, tıpkı önce bodrumdan yavaş yavaş yükselen, sonra hızla giriş katını, oradan bir üst katı basan ve giderek tavan arasına kadar yükselen sel suları gibi, zaman içinde atomik alanın ötesine geçip giderek daha büyük ölçekler üzerinde başarı kazanmıştır.

O halde, bu sorunla ilgili olarak şöyle düşünebiliriz: Siz, ben, bilgisayarlar, bakteri ve virüsler ya da geri kalan her şey aslında molekül ve atomlardan oluşmaktadır. Bunlar da elektron ve kuark gibi parçacıklardan meydana gelmektedir. Schrödinger'in denklemi elektron ve kuarklar üzerinde işlemektedir ve tüm kanıtlar denklemin, kendisini oluşturan parçacık sayısına bakılmaksızın, sözü edilen bileşenlerden oluşan bütün nesneleri de açıklayabileceğine işaret etmektedir. Bu, Schrödinger'in denkleminin ölçümler esnasında uygulanabilirliğinin devam edebileceği anlamını taşır. Sonuçta, ölçüm denilen süreç, bir parçacık topluluğunun (insan, aygıt, bilgisayar...) başka bir parçacık topluluğuyla (ölçülen parçacık ya da parçacıklar) temas haline geçmesidir. Eğer durum böyleyse, Schrödinger'in matematiği her durum için geçerliğini korumaya devam edecekse, Bohr'un söyledikleri değerini yitirecektir. Schrödinger'in denklemi olasılık dalgalarının çökmesine izin vermemektedir. Bu da Kopenhag yaklaşımının temel bir savının sarsılması anlamına gelir.

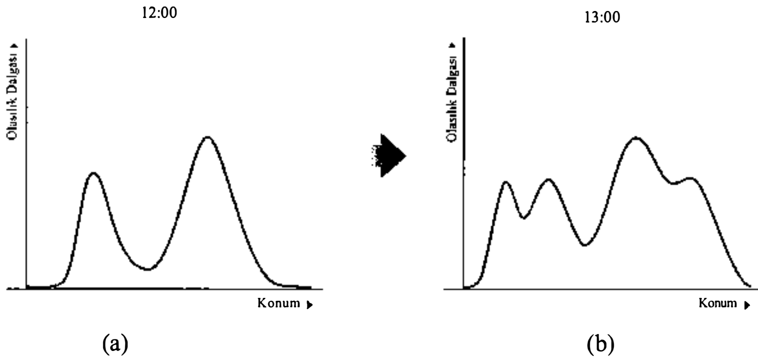
Gelelim üçüncü soruya: Eğer yukarıda sözünü ettiğimiz durum doğruysa ve olasılık dalgaları çökmüyorsa, bizler nasıl oluyor da ölçüm öncesinde var olan çeşitli olası sonuçlardan ölçüm esnasında ortaya çıkan tek bir sonuca geçiş yapıyoruz? Daha genel olarak belirtmemiz gerekirse, olasılık dalgalarına ölçüm sırasında ne olmaktadır da ölçüm sonucu hepimizin aşina olduğu, kesin ve tek bir gerçekliğin ortaya çıkmasına imkân vermektedir?

Everett, Princeton Üniversitesi'nde yazdığı doktora tezinde bu soruyu ele almış ve daha önce hiç akla gelmeyen bir sonuca ulaşmıştır.

Doğrusallık ve Hoşnutsuzlukları

Everett'in keşfi sırasında nasıl bir yol izlediğini anlayabilmek için Schrödinger'in denklemini biraz daha öğrenmemiz gerekiyor. Dediğim gibi, Schrödinger'in denklemi olasılık dalgalarının aniden çökmelerine izin vermiyor. Ama neden? Peki, *neye* izin veriyor? Şimdi Schrödinger matematiğinin olasılık dalgasının zaman içinde nasıl değiştiğine dair açıklamalarına bir bakalım.

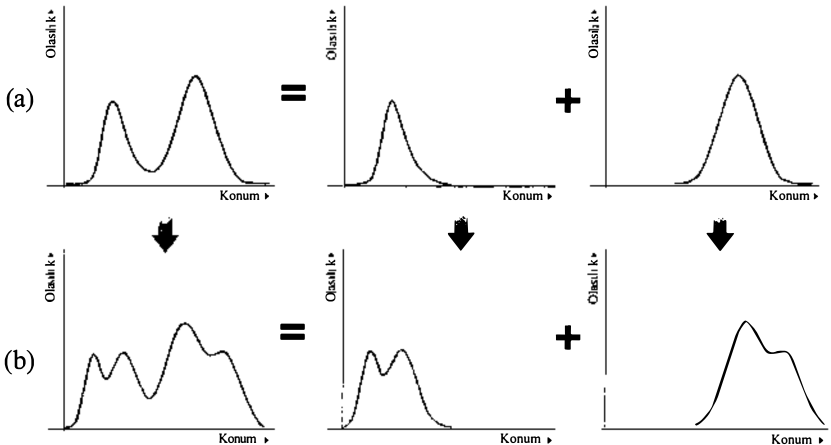
Aslında bu oldukça açık çünkü Schrödinger denklemi, *doğrusallık (lineerlik) özelliği* –yani bir bütünün parçalarının toplamından meydana geldiğinin matematiksel ifadesi– üzerine kurulu son derece basit bir matematik denklemidir. Bunun ne anlama geldiğini anlamak için Şekil 8.7a'da gösterilen biçimin belli bir elektronun öğle saatindeki olasılık dalgası olduğunu düşünelim (Görsel kolaylık sağlayabilmek için olasılık dalgasını yatay eksen üzerinde gösterilen tek bir boyuttaki konuma bağlı olarak alacağım ama fikir genellenebilir.). Bu dalganın zaman içindeki değişim sürecini izlerken Schrödinger'in denklemini kullanabilir, Şekil 8.7b'de gösterildiği gibi, söz gelimi saat 13'teki durumuna bakabiliriz. Şimdi şuna dikkat edin: Şekil 8.7a'da gösterilen ilk olasılık dalgasını, Şekil 8.8a'daki gibi iki daha basit parçaya bölüp ayırabiliriz; eğer bu iki dalgayı değerlerini her bir noktada toplayarak tekrar birleştirirseniz, yine orijinal dalga biçimini elde edersiniz. Schrödinger'in denkleminin doğrusal olması,



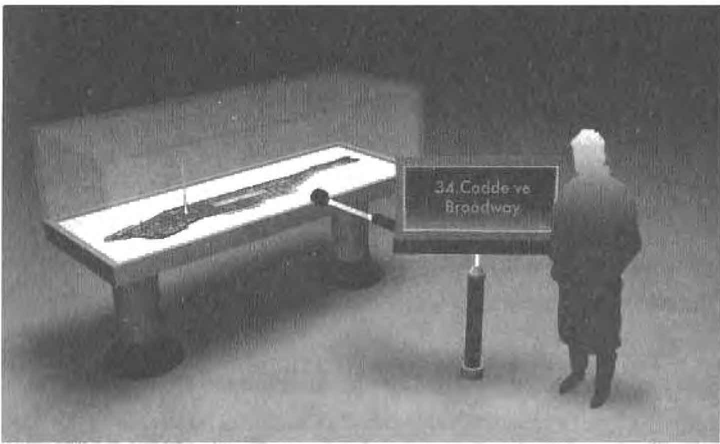
Şekil 8.7 (a) Belli bir zamanda bir olasılık dalgasının ilk biçimi, Schrödinger'in denklemi ile daha sonra **(b)**' de gösterildiği gibi farklı bir biçime dönüşür.

bu denklemi Şekil 8.8.a'daki her bir biçim için ayrı ayrı uygulayabileceğiniz, her bir dalga parçasının saat 13'teki durumunun nasıl gözüktüğünü saptayabileceğiniz, sonra da Şekil 8.8b'deki gibi, ayrı ayrı elde ettiğiniz bu sonuçları toplayarak Şekil 8.7b'de gösterilen sonuca ulaşabileceğiniz anlamına gelir. Bir bütünü sadece iki ayrı parçaya bölebilirsiniz diye de bir şey yoktur. İlk biçimi istediğiniz kadar çok parçaya ayırabilir, her birini ayrı ayrı geliştirebilirsiniz, sonra da elde ettiğiniz tüm sonuçları toplayıp dalganın son biçimine ulaşabilirsiniz.

Bu yalnızca teknik bir kolaylıkmış gibi gözükse de doğrusallık gerçekten olağanüstü ölçüde güçlü bir matematiksel özelliktir. Doğrusallık, çok önemli olan böl ve yönet stratejisinin uygulanmasına imkân verir. Eğer dalganın ilk biçimi karmaşıksa, o zaman dalgayı daha küçük parçalara da bölebilir ve her bir parçayı ayrı ayrı inceleyebilirsiniz. En sonunda, elde ettiğiniz ayrı sonuçları bir araya getirirsiniz. Bu yöntemin önemli bir uygulamasını zaten Şekil 8.4'te gösterilen çift-yarık deneyinde görmüştük. Elektronun olasılık dalgasının nasıl değiştiğini saptamak için işlemi ikiye ayırdık: Önce sol yarıktan sonra sağ yarıktan geçen par-



Şekil 8.8 (a) Bir olasılık dalgasının ilk biçimi daha basit iki parçaya ayrılabilir **(b)** İlk olasılık dalgasının değişimi, daha sonra bu basit parçaların sonuçlarını toplayarak elde edilebilir.



Şekil 8.9 Belli bir anda bir elektronun olasılık dalgası, 34. Cadde ile Broadway'in kesiştiği köşede sivri bir yapıdadır. Elektron konumunun o andaki ölçümü, elektronun olasılık dalgasının sivri bir yapıda olduğu noktada bulunduğunu gösterir.

çaların nasıl evrildiklerini görüp daha sonra bu dalgaları birleştirdik. Meşhur girişim desenini de bu şekilde elde ettik. Bir kuramcının kara tahtasına baktığınızda, pek çok matematik probleminin çözümünde bu yaklaşımı kullandığını görürsünüz.

Doğrusallık, kuantum hesaplamalarını yalnızca başa çıkılabilir kılmaz, ayrıca kuramın bir ölçüm sırasında neler olup bittiğini açıklamakta yaşadığı güçlüğün de merkezindedir. Bunu anlamanın en iyi yolu, doğrusallığı ölçme eyleminin kendisine uygulamaktır.

Söz gelimi, siz New York'ta geçen çocukluğuna büyük özlem duyan bir deneysel fizikçisiniz ve şehrin maketi üzerine zerk ettiğiniz elektronların konumunu ölçüyorsunuz. Deneylerinize olasılık dalgası belirgin şekilde basit bir biçime sahip –Şekil 8.9'da görüldüğü gibi sivri ve ince bir yapıda– olan bir elektronla başlarsınız. Bu biçim elektronun o an yüzde 100 olasılıkla 34. Cadde ile Broadway'in kesiştiği köşede durduğu anlamına geliyor. (Elektronun bu şekli nasıl edinmiş olduğunu düşünmeyin, öyle kabul edin.)* Gelişmiş bir cihazla elektronun tam o andaki

* Kolaylık açısından, elektronun düşey yöndeki konumunu ele almayacağız –sadece elektronun Manhattan haritasındaki yerine bakacağız. Bu bölümde, Schrödinger denkleminin, Şekil 8.6'da gösterildiği gibi dalgaların çökmesine izin vermediği belirtilirken, dalgaların deneyci tarafından iğne gibi sivri bir biçimde (ya da daha doğrusu, bu biçime çok yakın biçimde) hazırlanabileceğini tekrar vurgulamalıyım.

konumunu ölçerseniz, sonuç tam tamına tutarlılık göstermelidir –yani cihazdan çıkan veri "34. Cadde ve Broadway" demelidir. Gerçekten böyle bir deneyi yaparsanız, Şekil 8.9'da gördüğünüz üzere, tam olarak alacağınız cevap bu olur.

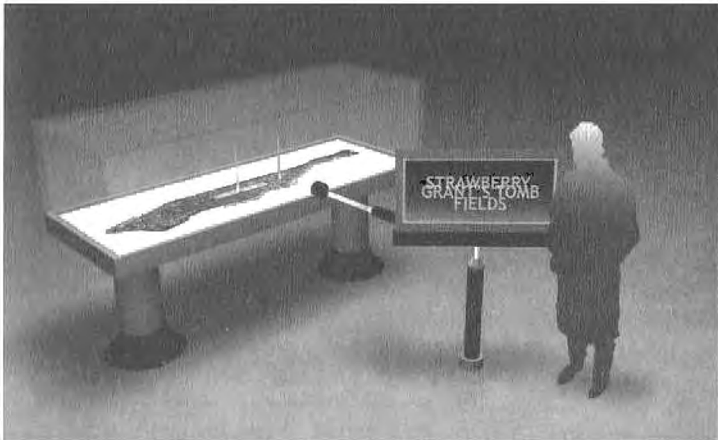
Schrödinger denkleminin, elektronun olasılık dalgasını, ölçüm cihazını oluşturan trilyon kere trilyon civarında atomun olasılık dalgası ile birbirine nasıl dolaştırdığını, bu trilyon kere trilyon atomun bir kümesinin kendisini nasıl olup da "34. Cadde ve Broadway" bilgisini verecek şekilde düzenlemesini sağladığını ise hiç sormayın. Şimdilik, bu cihazı kim yapmışsa, bize büyük bir iyilik yapmış, diyelim. Bu cihaz, elektron cihazla etkileşime geçtiğinde ekranında o tek elektronun nerede olduğunun kesin bilgisini gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Göstermeseydi, daha düzgün çalışanıyla değiştirmek gerekecekti. Bunun dışında bir şeyi daha belirtmek gerekir ki 34. Cadde ve Broadway ile ilgili özel bir şey yok elbette –Macy's dışında. Benzer biçimde, bu deneyi 84. Cadde ile Central Park'ın birleştiği yerdeki Hayden Planetaryum'una ya da Lenox Bulvarı yakınındaki 125. Cadde'deki Bill Clinton'ın ofisine ait konumlarda sivri bir yapıda olan olasılık dalgasına sahip bir elektron için de tekrarladığımızda da cihaz bize bu yerlerin adını söyleyecektir.

Şimdi, Şekil 8.10'daki gibi biraz daha karmaşık yapılı bir dalga biçimi ele alalım. Bu olasılık dalgasına göre, belli bir zamanda elektronun bulunabileceği iki yer vardır –Central Park'ta John Lennon'ın anısına ayrılmış Strawberry Fields ve Riverside Park'taki Grant's Tomb (Anlaşılan elektronun bugünkü ruh hali biraz kötü.). Elektronun konumunu, Bohr'un düşüncesinin tersine ve en hassas deneylerle de uyumlu olarak, Schrödinger denkleminin elektrondan ölçme cihazının içindeki atomlara kadar geçerliğini koruduğunu varsayarak ölçersek, cihazın ekranında ne yazacaktır dersiniz? Yanıtın temelinde yine doğrusallık var. Sivri dalgaları tek tek ölçtüğümüzde ne olduğunu biliyoruz. Şekil 8.9'da gösterildiği gibi, Schrödinger denklemi cihaz ekranında sivri yapının konumunun görülmesine neden olacaktır. O halde doğrusallık bize, iki sivri yapı biçimine ait cevabı bulmak

için, her bir sivri yapıya ait sonuçları ayrı ayrı bulmamızı ve bunları daha sonra birleştirmemizi söylemektedir.

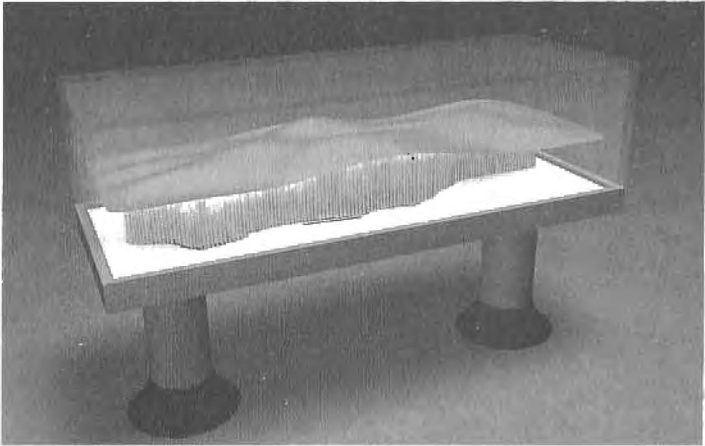
İşte bu noktada işler sarpa sarmaya başlayabilir. İlk aşamada, birleştirilmiş sonuçlarla, cihazın her iki sivriliğin yerini de aynı anda göstermesini bekleyebiliriz. Şekil 8.10'daki gibi, yazıların birbirine girdiği bir ekranda Strawberry Fields ve Grant's Tomb yazmalıdır. Schrödinger denklemi, aynı zamanda, ölçme cihazının ekranından yayılan fotonların olasılık dalgalarının gözünüzün retinasındaki çubuk ve koni hücrelerindeki parçacıklara ait olasılık dalgaları ile ve en sonunda nöronlarınızdaki parçacıkların olasılık dalgaları ile nasıl etkileşip beyninizde zihinsel bir resim oluşturduğuna da açıklık getirmektedir. Schrödinger denkleminin sınırsız hâkimiyeti ve açıklama gücü olduğunu varsayarak doğrusallığın burada da geçerliğini koruduğunu söyleyebiliriz. Bu nedenle yalnızca cihaz aynı anda her iki konumu da göstermekle kalmaz, aynı zamanda beyniniz de elektronun aynı anda iki ayrı yerde olduğunu düşünerek karmaşaya düşecektir.

Çok daha karmaşık yapılı dalga biçimleri söz konusu olduğundaysa sorun daha da işin içinden çıkılmaz bir hal alır. Örneğin, dört sivri yapıya sahip bir şekil durumun iki kat daha kar-



Şekil 8.10 Elektronun olasılık dalgası iki ayrı konumda sivri bir yapıya sahiptir. Schrödinger denkleminin doğrusallığı, elektron konumunun ölçümünün bu konumların kafa karıştırıcı bir bileşimini ortaya çıkaracağını öne sürer.

maşıklaşmasına yol açar. Altı sivri yapıya sahip bir şekilde ise karmaşıklık üç katına çıkar. Böyle devam edersek, Manhattan maketinde her bir konuma değişik yükseklikte sivri yapıya sahip dalgalar yerleştirirsek, bunların birleşik görüntüsü, Şekil 8.11'de şematik olarak gösterildiği gibi, çok daha yavaş değişiklik gösteren sıradan bir kuantum dalgası biçimi ortaya koyacaktır. Bu durumda doğrusallık geçerliğini yine koruyacak, bu da tek tek her bir sivri yapıya ait sonuçların birleşimiyle oluşan karmaşık görüntünün hem cihazın ekranında hem de beyninizde ve zihninizde yansıması anlamına gelecektir. Bu durumda ölçüm cihazı her bir sivri yapının konumunu –yani Manhattan'ın her bir noktasını– aynı anda bildirmelidir ve bu gerçekleşirken zihniniz iyice karışmış bir halde, elektron için belli bir konum tayin edemez hale gelecektir.[5]



Şekil 8.11 Genel bir olasılık dalgası, her biri elektronun bulunması muhtemel olan konumlarına işaret eden birçok sivri yapıya sahip dalgaların birleşimidir.

Fakat bu elbette deneyimlerimizle tamamıyla çelişki içinde görünmektedir. Düzgün çalışan hiçbir cihaz ölçüm yaparken birbiriyle çelişen sonuçları bir arada vermez. Kafası doğru dürüst çalışan hiç kimse bir ölçüm yaparken eş zamanlı ama farklı sonuçların baş döndürücü karışımına dair bir algıya sahip olmaz.

Şimdi Bohr'un reçetesinin çekiciliğini anlayabilirsiniz. Bohr, Dramamine alın da başınız dönmesin, derdi herhalde. Belirsiz ölçüm sonuçlarını göremeyiz çünkü zaten böyle bir şey gerçekte olmuyor, diye devam ederdi. Ardından Schrödinger denkleminin erişim alanını büyük cisimlerin (ölçümleri yapan laboratuvar cihazları ve bu sonuçları okuyan bilim insanları) alanına girecek şekilde fazla genişlettiğimiz için yanlış sonuçlara ulaştığımızı öne sürerdi. Schrödinger denklemi ve bu denklemin özelliği olan doğrusallık, her ne kadar ayrı ayrı elde edilen sonuçları birleştirebileceğimizi –hiçbir şeyin çökmediğini– söylese de Bohr bize bunun yanlış olduğunu, çünkü ölçme eyleminin Schrödinger matematiğini bir kenara attığını söyler. Bunun yerine, ölçümlerin Şekil 8.10 ya da 8.11'deki sivri yapılardan biri hariç hepsinin sıfıra çökmesine neden olduğunu, değeri çökmeyen o bir tek sivri yapının hangisinin olacağı olasılığının ise sivriliğin yüksekliğiyle orantılı olduğunu dillendirirdi. Kalan bu tek sivri yapı, ölçüm yaptığınız cihazınızın size vereceği tek cevabı ve ayrıca beyninizin algıladığı tek sonucu belirler. Böylece karmaşıklık çözülmüştür.

Ancak Everett'e, daha sonra da DeWitt'e göre, Bohr'un yaklaşımı çok pahalıya patlıyordu. Schrödinger denklemi parçacıkları açıklamayı amaçlıyordu. Tüm parçacıkları. Peki, neden parçacıkların belli dizilimlerine, örneğin ölçümleri yapan cihazın parçacıklarına veya bu cihazları izleyen araştırmacılarınkilere neden uygulanamazdı? Bu pek anlamlı değildi. Bu yüzden Everett, Schrödinger'den hemen vazgeçmemeyi önerdi. Bunun yerine, Schrödinger denkleminin bizi nereye götüreceğini gerçekten farklı bir bakış açısından incelememiz gerektiğini savundu.

Çoklu Dünyalar

Karşılaşmış olduğumuz ve anlamlandıramadığımız güçlük, bir ölçüm cihazının ya da zihnimizin birbirinden apayrı gerçeklikleri eş zamanlı deneyimlemesidir. Şu ya da bu konu üzerinde çelişkili görüşlerimiz olabilir, şu ya da bu kişi hakkındaki duygularımız çelişebilir, fakat konu gerçekliği oluşturan olgulara gelince, bildiğimiz her şey, kesin açık nesnel bir tanımlamanın varlığını kanıt-

lar. Bildiğimiz her şey bize bir cihazın ve bir ölçümünün tek bir sonucu göstermesi gerektiğini, bir sonucun ve bir zihnin de tek bir zihinsel izlenim meydana getirmesi gerektiğini kanıtlar.

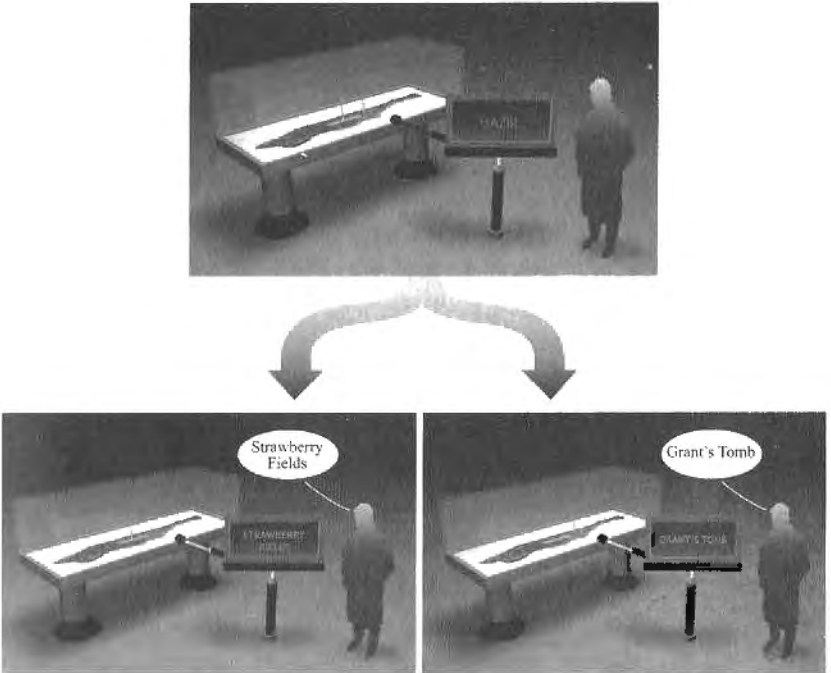
Everett'in düşüncesine göre, Schrödinger matematiği, diğer bir deyişle, kuantum matematiğinin özü, bu tür temel deneyimlerle *uyumludur*. Cihazın ekranında ve zihnimizde oluştuğu öne sürülen karmaşıklığın kaynağı, bu matematiği uygulama biçimimizdir –yani Şekil 8.10 ve Şekil 8.11'de gösterildiği şekilde, ölçüm sonuçlarını birleştirme biçimimizdir. Şimdi bu konu üzerinde biraz düşünelim.

Şekil 8.9'daki gibi tek sivri yapıya sahip bir olasılık dalgasını ölçtüğünüz zaman, cihaz sivriliğin konumunu kaydeder. Bu sivri yapı, söz gelimi, Strawberry Fields'te ise cihazın ekranı bunu gösterir. Siz sonuca baktığınız zaman, beyniniz bu konumu kaydeder ve siz sonucun farkına varırsınız. Benzer biçimde, eğer sivri yapı Grant's Tomb'da ise beyniniz bu konumu kaydeder ve bu sonucun farkına varırsınız. Şekil 8.10'daki çift sivri yapıya sahip dalgayı ölçtüğünüzde ise Schrödinger matematiği size bu iki ayrı sonucu birleştirmenizi söyleyecektir. Ancak Everett bu sonuçları bir araya getirirken çok dikkatli ve net olmanız gerektiği konusunda uyarır. Birleşik sonucun, eş zamanlı olarak her iki konumu da kaydeden bir ölçme aleti ve bir zihne netice vermeyeceğini öne sürer. Bu şekilde bir netice tümüyle üstünkörü bir düşünme biçiminin sonucudur.

Bunun yerine, adımlarınızı yavaş yavaş ve net biçimde atarsanız görürsünüz ki birleştirilmiş sonuç, aslında, Strawberry Fields'i kaydeden bir cihaz ve bir zihin, ayrıca Grant Tomb'u kaydeden bir cihaz ve bir zihindir. Peki, bu ne anlama gelir? Biraz sonra ayrıntısına ineceğim konunun şimdi genel bir resmini sunacağım. Everett'in sunduğu sonuca ulaşabilmek için cihazın, sizin ya da herhangi başka bir şeyin iki cihaz, iki siz, iki herhangi başka bir şeye netice verecek şekilde, ölçümle birlikte ikiye bölünmesi gerekir –aralarındaki fark şudur ki bir cihaz ya da bir siz Strawberry Fields'i kaydederken, diğer cihaz ve diğer siz Grant Tomb'u kaydeder. Şekil 8.12'de görüldüğü gibi, bu artık

iki paralel gerçekliğin, iki paralel dünyanın olması anlamına gelmektedir. Bu gerçekliklerin her birinde ayrı ayrı olan sizin açınızdan, ölçüm ve sonuca ilişkin zihinsel algınız kesin ve tektir, yani tıpkı normal yaşamdaki gibidir. Ne var ki burada tuhaf olan durum, böyle hisseden iki tane siz olmasıdır.

Konuyu anlaşılabilir kılmak için, özellikle basit bir olasılık dalgasına sahip olan tek bir parçacığın konumunun ölçümüne odaklandım ancak Everett'in görüşü genel olarak uygulanabilir. Olasılık dalgasında çok sayıda sivri yapı bulunan bir parçacığın, söz gelimi beş sivri yapı içeren bir olasılık dalgasının, konumunu ölçtüğünüzde Everett'e göre sonuç yalnızca her bir gerçeklikte yer alan cihazda ve her bir gerçeklikte yer alan sizin zihninizde kayıtlı olan konumun farklılık gösterdiği beş paralel gerçekliktir. Eğer bu "siz"lerden biri, yedi sivri yapısı olan başka bir parçacığın konumunu ölçecek olsa, o siz ve o gerçeklik ye-



Şekil 8.12 Everett'in yaklaşımına göre, olasılık dalgasında iki sivri yapı bulunan bir parçacığın ölçümü her ikisinin konumunu da verir. Dünyalardan birinde, parçacık ilk konumda, ötekinde ise ikinci konumda bulunur.

di parçaya bölünecek ve her biri için ayrı bir sonuç beklenecektir. Şekil 8.11'deki gibi, sıkı sıkıya bir araya gelmiş çok sayıda sivri yapısı olan bir dalgayı ölçerseniz, sonuç çok sayıda paralel gerçeklik olacak, her birindeki parçacık konumları bir cihaz tarafından kaydedilecek ve sizin bir kopyanız tarafından okunacaktır. Everett'in yaklaşımında *mümkün* olan her şey, kuantum mekaniği diliyle konuşursak kuantum mekaniğinin sıfır olmayan bir olasılık değeri atadığı tüm sonuçlar, kendi ayrı dünyası içinde *gerçekleşmektedir*. İşte bunlar kuantum mekaniğine Çoklu Dünyalar yaklaşımındaki "çoklu dünyalar"dır.

Daha önceki bölümlerde kullandığımız terminolojiyi kullanacak olursak, bu çoklu dünyalar, bir çoklu evreni oluşturan bir sürü evren olarak tanımlanabilir. Karşımızdaki bu altıncı çoklu evrene *Kuantum Çoklu Evreni* adını vereceğim.

İki Öykünün Öyküsü

Kuantum mekaniğinin çok sayıda gerçeklik yarattığını açıklarken, "bölünme" sözcüğünü kullandım. Bu sözcüğü Everett kullanmıştı. DeWitt de. Ne var ki bu bağlam içerisinde bu anlamca yüklü sözcük yanlış anlaşılmaya oldukça müsait ve ben de bu sözcüğü kullanmaktan uzak durmaya niyetlenmiştim. Fakat şeytana uyuverdim. Nedenim ise şu: Gerçekliğin işleyişiyle ilgili bazı yeni görüşlerle aramızdaki engeli âdeta bir balyozla kırıp daha sonra zararı tamir etmek, bazen büyük bir özenle berrak bir pencere oyup yeni manzarayı doğrudan açığa çıkarmaktan çok daha etkilidir. Şu ana kadar balyozu kullanıyordum; bu ve bundan sonraki bölümlerde ise gerekli tamiratları yapacağım. Bazı görüşler şu ana kadar karşılaştıklarımızdan çok daha karmaşıktır, açıklanmaları daha uzun sürer, yine de okumaya devam etmenizi öneririm. Şu ya da bu biçimde Çoklu Dünyalar anlayışını duyan ya da bu konuda bir miktar bilgi sahibi olan kişilerin bu görüşün aşırı bir spekülasyondan başka bir şey olmadığını düşündüklerini gördüm. Ancak bu düşünce tamamıyla yanlıştır. Açıklayacağım gibi, Çoklu Dünyalar anlayışı aslında kuantum fiziğini açıklayan yaklaşımların içinde belki de en mu-

hafazakar çerçeveye sahip olanıdır ve bunun nedenini anlamak son derece önemlidir.

Temel nokta şu ki fizikçiler daima iki tür öykü anlatmalıdır. Bunlardan biri, belli bir kurama göre evrenin nasıl oluşup geliştiğini anlatan matematiksel öyküdür. Diğer öykü ise soyut matematiği kullandığımız dile tercüme eden fiziksel öyküdür. Bu ikinci öykü, matematiksel süreçlerin sizin ya da benim gibi gözlemcilere ne anlattığıyla, daha genel olarak belirtmek gerekirse, kuramın matematiksel sembollerinin gerçekliğin doğasına ilişkin ne söylediğiyle ilgilidir.[6] Newton'un kuramında bu iki öykü, VII. Bölüm'de Newtoncu "mimarinin" anında anlaşılabilir ve elle tutulur olduğu konusunda öne sürdüğüm gibi, birbirlerinden farklı değildir. Newton'un denklemlerinde her sembolün gerçek dünyayla ilişkili doğrudan ve anlaşılır fiziksel bir gönderimi vardır. x sembolü nedir? x sembolü topun konumunu gösterir. Peki, v sembolü nedir? O da topun hızını. Ancak, kuantum mekaniğine geldiğimizdeyse, matematik sembollerle gerçek dünyada görebildiklerimiz arasındaki ilişkiyi oluşturmak çok daha fazla ustalık gerektirir. Bu iki öykünün her birinde kullanılan dil ve kavramlar birbirlerinden o kadar farklıdır ki bütünlüklü bir kavrayış için her birini ayrı ayrı anlayabilmek gerekir. Ancak her iki öyküyü iyi ayırt etmek önemlidir: Hangi fikir ve tanımlamalardan kuramın temel matematiksel yapısının bir parçası olarak yararlanıldığını ve hangilerinin insani deneyimlerle köprü kurmak için kullanıldığını tam olarak anlamak gerekir.

Şimdi, kuantum mekaniğinde Çoklu Dünyalar yaklaşımına dair iki öyküye geçebiliriz. İşte birinci öykü.

Çoklu dünyalar yaklaşımının matematiği, Kopenhag yaklaşımının matematiğine göre daha basit, duru ve sabittir. Schrödinger'in denklemi olasılık dalgalarının zaman içinde nasıl değiştiğini belirler ve hiçbir zaman bir kenara atılmaz; *her zaman* geçerliğini korur. Schrödinger'in matematiği inişli çıkışlı hale gelmelerine neden olarak olasılık dalgalarının biçimine, bu biçimlerin zaman içinde ötelenmelerine ve şekillerinin değişmesine yön verir. İster bir parçacığın, ister bir parçacık kümesinin ya da sizi ve ölçme ci-

hazınızı meydana getirecek şekilde bir araya gelmiş parçacıkları açıklıyor olsun, Schrödinger denklemi parçacıkların ilk olasılık dalgasının biçimini girdi olarak alır ve sonra da tıpkı bilgisayarda gelişmiş bir ekran koruyucuyu yöneten grafik programı gibi, dalganın sonraki bir zamandaki biçimini çıktı olarak verir. Bu yaklaşıma göre, evrenin nasıl evrildiğinin temeli budur. Nokta. Öykünün sonu. Daha doğrusu birinci öykünün sonu.

Fark etmiş olacağınız gibi, birinci öyküyü anlatırken "bölünme", "çoklu dünyalar", "paralel evrenler" ya da "Kuantum Çoklu Evreni" gibi terimleri kullanmaya ihtiyaç duymadım. Çoklu Dünyalar anlayışı bu özellikleri varsaymaz. Bu terimler kuramın temel matematiğinde bir rol oynamaz. Birazdan göreceğimiz gibi, bu kavramlar kuramın ikinci öyküsünde Everett'i ve onun öncü çalışmasını geliştirenleri takip ederek matematiğin bize gözlemlerimiz ve ölçümlerimiz hakkında ne söylediğini araştırdığımızda ortaya çıkar.

Şimdi olabildiğince basit biçimde başlayalım. Şekil 8.9'da görüldüğü gibi, sivri bir yapı içeren bir olasılık dalgasına sahip elektronu ölçtüğünüzü düşünün. (Yine şekildeki elektronun nasıl olup da bu dalga biçimini aldığına takılmayın; öyle kabul edin.). Daha önce belirtildiği gibi, bu ölçüm sürecinin bile birinci öyküsünü ayrıntılarıyla anlatmak yapabileceğimiz bir şey değildir. Schrödinger matematiğini kullanıp sizi ve ölçüm cihazınızı oluşturan muazzam sayıdaki parçacığın konumlarını belirleyen olasılık dalgasının elektronun olasılık dalgasıyla nasıl birleştiğini ve bu birleşmenin zaman içinde nasıl evrildiğini açıklamak gerekir. Üniversitede pek çoğu son derece yetenekli olan lisans programı öğrencilerim, çoğu kez bir tek parçacık için bile Schrödinger denklemini çözmek için büyük çaba harcarlar. Sizinle ölçüm cihazınız arasında 10^{27} civarı parçacık vardır. Böylesi çok sayıda parçacık için Schrödinger denklemini uygulamaya çalışmak neredeyse imkânsızdır. Yine de bu matematiğin neleri ele aldığını nitel olarak anlayabiliriz. Elektronun konumunu ölçtüğümüz zaman toplu bir parçacık göçüne neden oluruz. Örnekteki ölçüm cihazının ekranında 10^{24} ya da ona yakın sayıda parçacık, tıpkı bir gösteri

arasında sunulan kısa şovlardaki dansçılar gibi, hep birden belli bir noktaya doğru koşturur ve "34. Cadde ve Broadway" sonucunu verirler; bu sırada gözlerimde ve beynimde bulunan benzer sayıdaki parçacık elde edilen sonucu zihnimde anlamlandırmam için ne gerekiyorsa yapar. Schrödinger matematiği –çok sayıda parçacıkla karşılaşıldığı zaman açıkça çözümlenmesi mümkün olmasa da– bu parçacıkların ötelemelerini tanımlar.

Bu dönüşümü olasılık dalgası seviyesinde hayalinizde canlandırmanız da pek kolay değildir. Şekil 8.9'da ve ilgili diğer şekillerde bir parçacığın olası konumlarını tanımlamak için iki eksen kullandım; bizim Manhattan maketinde bunlar kuzey-güney ve doğu-batı eksenleridir. Olasılık dalgasının her bir noktadaki değeri dalganın yüksekliğiyle tanımlanmaktadır. Üçüncü ekseni, yani parçacığın düşey konumunu (binanın hangi katında olduğunu belirtmek gibi) hariç tuttuğum için açıklamalar biraz daha kolaylaşıyor. Bu aşamada düşey konumu eklemek pek kolay olmazdı çünkü parçacığın konumunu belirtmek için bu üçüncü ekseni de kullansaydım, dalganın büyüklüğünü göstereceğim başka bir eksen kalmayacaktı. Bunlar beynimizin ve görme sistemimizin evrimimiz nedeniyle üç boyutlu bir uzaya tıkılıp kalmış olan algılarındaki sınırlılıklarıdır. Sonuçta, yaklaşık 10^{27} parçacık için bir olasılık dalgasını tam olarak gözümüzde canlandırabilmek adına, her bir parçacık için üç eksen kullanmaya ihtiyacım var çünkü bu eksenler matematiksel olarak bana her bir parçacığın konumunu hesaba katma imkânı verecektir.* Şekil 8.9'a ekleyeceğiniz tek bir düşey eksen bile durumu gözümüzde canlandırmayı güçleştirir. Milyarlar kere milyar kere milyar daha fazla eksen eklenmesini ise varın siz düşünün.

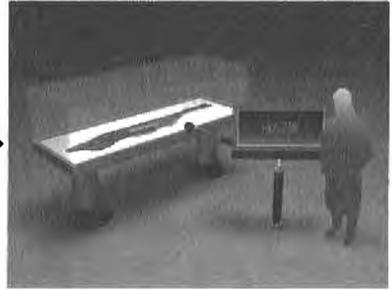
Ancak temel fikirlerin zihnimizde canlandırılması önemlidir; bu nedenle, biraz zor olsa da bir deneyelim. Sizi ve kullandığınız ölçüm cihazınızı meydana getiren parçacıkların olasılık dalgasını tanımlamaya çalışırken, mecburen iki eksenli düz yüzeye bağlı kalacağım, ancak bu eksenlerin ne anlam taşıdıkları konusunda biraz alışılmadık bir yorumlamaya başvuracağım. Kabaca ifade edersek, her bir ekseni, birbirlerine sıkıca bağlı muaz-

zam sayıda eksenden oluşmuş bir demet gibi düşüneceğim. Bu eksenler, sembolik olarak da olsa, söz konusu o muazzam sayıdaki parçacıkların olası konumlarını gösterecektir. Dolayısıyla, bu demet-eksenleri kullanarak çizilecek bir dalga, muazzam bir parçacık grubunun konumlarıyla ilgili olasılıkları verecektir. Çok parçacıklı ve tek parçacıklı durumlar arasındaki farkı vurgulamak için, Şekil 8.13'te görüldüğü gibi, çok parçacıklı bir olasılık dalgası için ışıldayan bir dış çizgi kullanacağım.

Matematiksel Öykü



Fiziksel Öykü



Şekil 8.13 Sizi ve kullandığınız cihazı meydana getiren tüm parçacıkların birleştirilmiş olasılık dalgasının şematik bir görünümü.

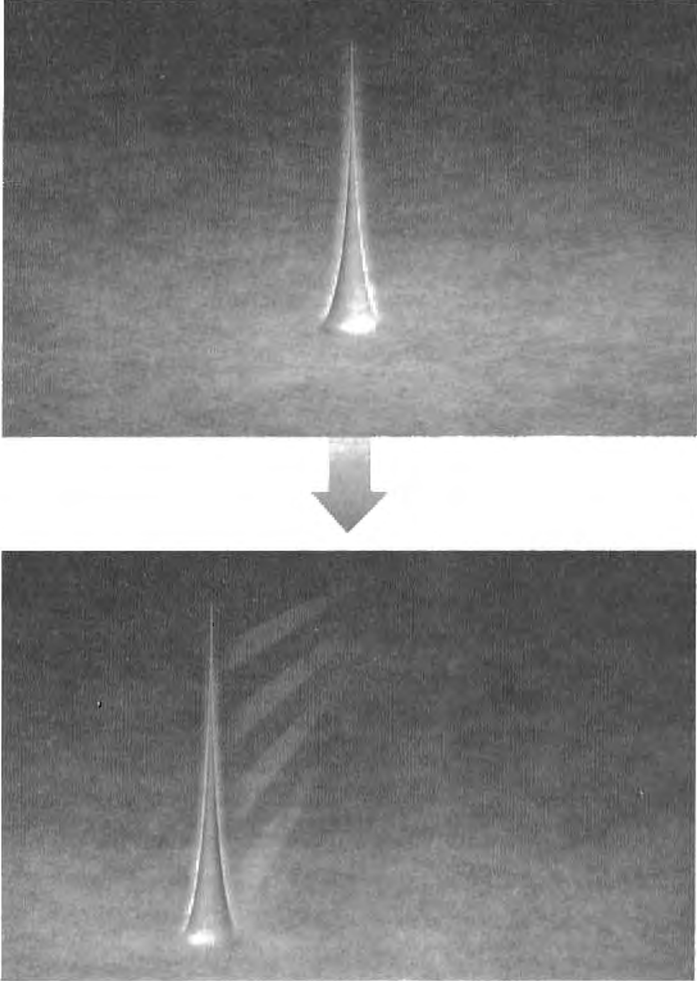
Çok parçacıklı ve tek parçacıklı resimlendirmeler bazı ortak özellikler taşımaktadır. Şekil 8.6'daki sivri dalga biçimi nasıl aşırı çarpık olasılık değerlerine işaret ediyorsa (yaklaşık yüzde 100 ihtimalle sivri yapının olduğu yerde, yaklaşık yüzde 0 ihtimalle diğer her yerde), Şekil 8.13'teki yüksek tepeli dalga da benzer şekildeki olasılıkları göstermektedir. Ancak burada dikkatli olmak gerekir çünkü tek parçacıklı çizimlerdeki kavrayışınız sizi ancak bu noktaya kadar götürür. Örneğin, Şekil 8.6'dan yola çıkarak Şekil 8.13'teki parçacıkların hepsinin aynı noktada konumlandıkları düşünülebilir. Oysa bu doğru değildir. Şekil 8.13'teki yüksek tepeli dalga, sizi ve kullandığınız cihazı meydana getiren her bir parçacığın konumları yaklaşık yüzde 100 kesinlikte belirlenmiş bir şekilde başladığını gösterir, ancak bu parçacıkların her biri gerçekte aynı noktada konumlanmamıştır. Elinizi, omzunuzu, beyninizi meydana getiren parçacıklar, yüksek oranda bir kesin-

likle elinizin, omzunuzun, beyninizin bulunduğu noktalarda, cihazınızı meydana getiren parçacıklar da yüksek oranda bir kesinlikle cihazınızın bulunduğu noktada yerleşmişlerdir. Şekil 8.13'teki yüksek tepeli dalga, bu her bir parçacığın başka yerde konumlanmış olma olasılığının çok düşük olduğunu temsil etmektedir.

Şimdi, Şekil 8.14'te gösterilen ölçümü yaparsanız, çok parçacıklı olasılık dalgasının (vücudunuzda ve cihazınızda bulunan parçacıklar için), elektronla etkileşimi sonucu evrildiğini görürsünüz (Şekil 8.14a'daki şemadaki gibi). Tüm parçacıkların kesinlik taşıyan konumları hâlâ devam etmektedir (vücudunuzda ve cihazınızda). Bundan dolayı, Şekil 8.14a'daki dalga sivrilmiş biçimini korur. Ancak parçacıkların topluca yeni bir düzen almaları, Şekil 8.14b'de gösterildiği gibi, cihazınızın ekranında ve beyninizde oluşan "Strawberry Fields" konumu ile neticelenir. Şekil 8.14a Schrödinger denklemine bağlı matematiksel dönüşümü temsil eder, yani birinci tür öyküyü. Şekil 8.14b bu türden bir matematiksel değişimin fiziksel açıdan tanımlanmasını göstermektedir. Bu da ikinci tür öyküdür. Benzer biçimde Şekil 8.15'teki deneyi yaparsak, benzer bir dalga ötelemesi ortaya çıkar (Şekil 8.15a). Bu öteleme, cihaz ekranında "Grant's Tomb" yazısını çıkartan ve beyninizde "Grant's Tomb" algısını oluşturan toplu halde parçacıkların yeniden düzenlenmesine işaret eder. (Şekil 8.15b).

Şimdi bu ikisini bir araya getirmek için doğrusallığı kullanalım. Olasılık dalgası iki ayrı noktada sivri bir yapıya sahip olan bir elektronun konumunu ölçerseniz, sizin ve kullandığınız cihazın olasılık dalgası elektronun olasılık dalgası ile kaynaşır ve Şekil 8.16a'da gösterilen evrim –Şekil 8.14a ve Şekil 8.14b'de gösterilen evrimlerin birleşimi– ortaya çıkar. Şu ana kadar anlattıklarımız sadece birinci türde bir kuantum öyküsünün açıklaması ve örneklemesidir. Belli bir biçimdeki olasılık dalgasıyla başladıktan sonra, Schrödinger denklemi bu dalgayı zamanda ileriye doğru evirdi ve yeni biçimde bir olasılık dalgası ortaya çıktı. Ancak şu ana kadar verdiğimiz ayrıntılar bu matematiksel öyküyü daha niteliksel bir dille, yani ikinci türde öykü diliyle anlatmamıza imkân tanıyor.

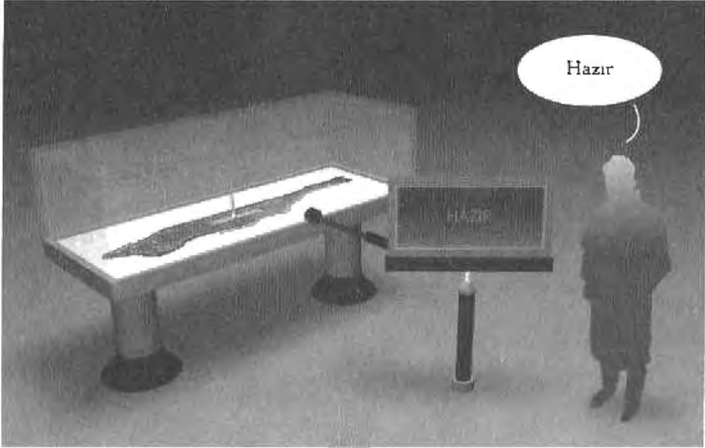
Fiziksel olarak, Şekil 8.16a'daki her sivri yapı, belirli bir konumu ekranında gösteren bir cihaz ve bu bilgiyi edinmiş olan zihniniz olarak sonuçlanan muazzam sayıdaki parçacıkların bir konfigürasyonunu temsil etmektedir. Soldaki sivri yapıda, "Strawberry Fields"; sağdaki sivri yapıda "Grant's Tomb" yazısı ekranda belirmiştir. Bu farkın dışında, bir sivri yapıyı diğerin-



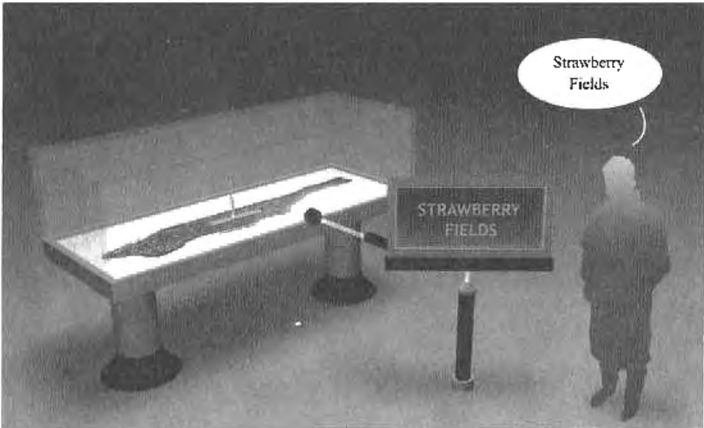
Şekil 8.14 (a) Schrödinger denklemi doğrultusunda bir elektronun konumunu ölçtüğünüz esnada sizi ve ölçüm cihazınızı meydana getiren parçacıkların birleşik olasılık dalgasının evrimini gösteren şema. Elektronun kendi olasılık dalgası "Strawberry Fields"te sivrilmiş bir şekilde yer almaktadır.

den ayıran *hiçbir şey* yoktur. Bunu özellikle vurgulamak isterim çünkü bu iki sivri yapının herhangi biri öbürüne göre daha gerçek değildir. Bu iki çok parçacıklı dalga sivriliklerini birbirinden asıl ayıran, sonuç itibarıyla, cihazın ekranındaki yazılar ve beyninizin bunu algılayıp işlemlemesidir.

Fiziksel Öykü





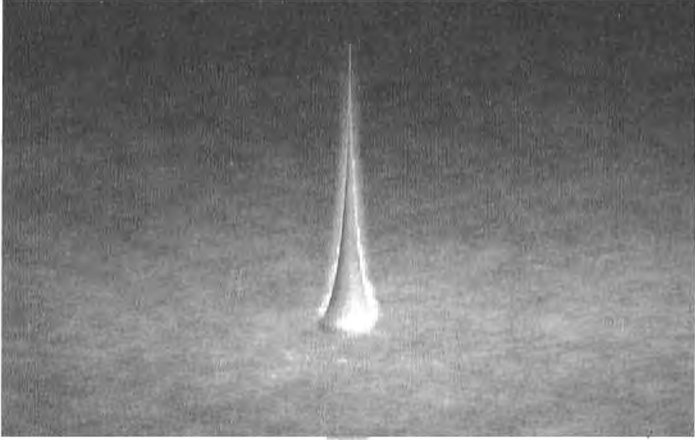


Şekil 8.14 (b) Aynı durumun fiziksel, ya da deneyimsel, öyküsü.

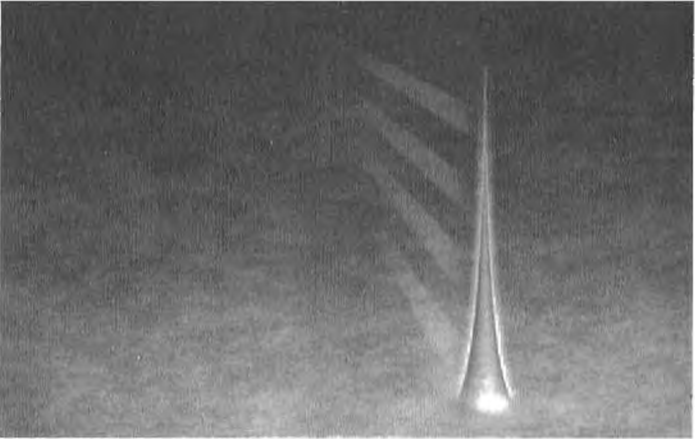
Bu da şu anlama gelir: Şekil 8.16b'de gösterildiği gibi, bizim ikinci türdeki öykümüz, iki gerçeklik barındırmaktadır.

Aslına bakarsanız, cihazınıza ve beyninize odaklanılmış olması da işin bir başka basitleştirilmiş yanıdır. Deneyin laboratuvarının ve laboratuvarı meydana getiren her şeyin parçacıklarını da dahil edebilirdim. Hatta yeryüzünü, güneşi vb. meydana getiren parça-

Matematiksel Öykü



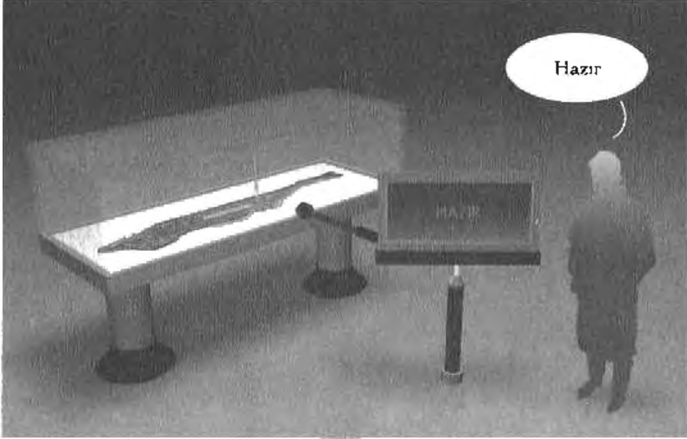




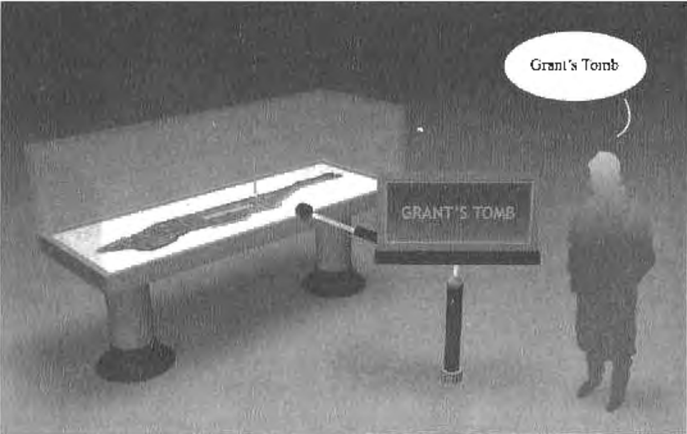
Şekil 8.15 (a) Şekil 8.14a'daki gibi aynı tip matematiksel bir evrim. Ancak bu kez elektronun olasılık dalgası Grant's Tomb'da sivrilmiş şekildedir.

cıkları da. Yine açıklamalarda değişen bir şey olmazdı. Tek farklılık, Şekil 8.16a'da gösterilen ışıyan olasılık dalgasının söz konusu bütün diğer parçacıklarla da ilgili bilgiler taşıması olurdu. Ancak ölçümümüzün bu parçacıklara etkisi olmadığı için, ölçüm örneğimizdeki mantık aynen geçerli olurdu. Yine de bu parçacıkları da kapsamak yararlı olabilir çünkü şimdi ikinci türdeki öykümüz

Fiziksel Öykü

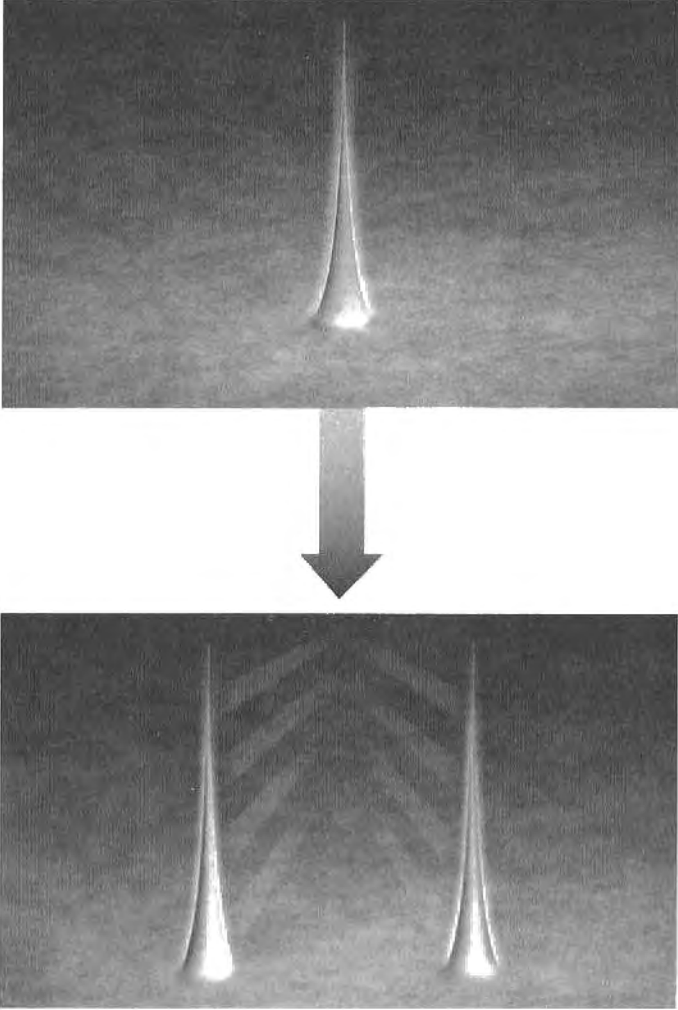






Şekil 8.15 (b) Aynı durumun fiziksel, ya da deneyimsel, öyküsü.

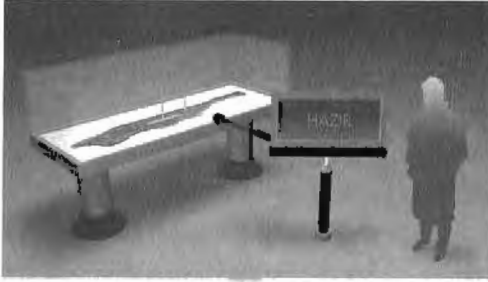
yalnızca cihazı inceleyen sizin kopyanıza değil, laboratuvarın, güneşin etrafında dönen yeryüzündeki geri kalan her şeyin vb. kopyalarına da yer verebilir. Bu da ikinci türdeki öyküde, her sivri yapının hakiki bir evrenle bağlantılı olduğu anlamına gelmektedir. Bu evrenlerin birinde cihazın ekranında "Strawberry Fields", ötekisinde "Grant's Tomb" yazısını görürsünüz.



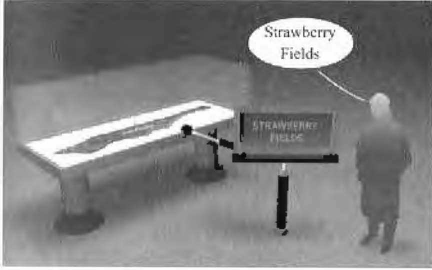
Şekil 8.16 (a) İki yerde sivri yapıya sahip olasılık dalgası olan bir elektronun konumunun ölçümü esnasında sizi ve ölçüm cihazınızı meydana getiren parçacıkların birleşik olasılık dalgasının evrimini gösteren şema.

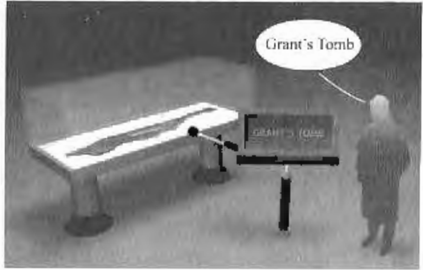
Elektronun olasılık dalgası, söz gelimi dört, beş, yüz ya da herhangi bir sayıda sivri yapıya sahip olsaydı, yine aynı şeyler geçerli olacaktı: Dalganın evrimi sonucunda dört, beş, yüz ya da herhangi bir sayıda evren meydana gelecekti. Daha genel olarak, Şekil 8.11'deki gibi, yayılmış bir dalganın her noktasında bir sivrilik vardır; bu durumda, dalganın evrimi her bir konum için bir evren olmak üzere çok sayıda evrenler meydana getirebilir.[7]

Fiziksel Öykü









Şekil 8.16 (b) Aynı durumun fiziksel, ya da deneyimsel, öyküsü.

Daha önce de açıkladığımız gibi, bu senaryoların hepsinde, bir olasılık dalgası Schrödinger denklemi doğrultusunda gelişir ve ortaya değişmiş biçimde bir dalga çıkar. İşin aslı ortada bir "klonlama makinesi" yoktur. "Bölme makinesi" filan da yoktur. Bu nedenle daha önce bu tür sözcüklerin yanlış anlamalara yol açabileceğini belirtmiştim. Tek makine, kuantum mekaniğinin matematiksel yasasının çalıştırdığı bir olasılık dalgası evrimi makinesidir. Şekil 8.16a'daki gibi, ortaya çıkan dalgaların belli bir biçimi olduğunda matematiksel öyküyü ikinci tür dilde yeniden anlatır ve Şekil 8.16b'deki gibi bizler her bir sivri yapıda, normal görünen bir evrende konumlanmış, duyu ve algılara sahip bir canlının bir deney için tek ve kesin bir sonucu gördüğü sonucuna ulaşırız. Bu canlılarla tek tek görüşebilme imkânım olsaydı, her birinin diğerinin kopyası olduğunu görürdüm. Tek farkları, her birinin, kendi gördüğünün tek ve kesin sonuç olduğunu dile getirmesi olurdu.

Şu halde Bohr ve Kopenhag ekibi bu evrenlerden yalnızca bir tanesinin var olduğunu öne sürdüğü halde (Çünkü onlara göre Schrödinger'in kapsamının dışında kalan ölçme eylemi diğerlerini de zaten "çökertip" ortadan kaldıracaktır.) ve Bohr'un ötesine geçmek için ilk denemenizde Schrödinger matematiğini, ölçüm cihazınız ve beyniniz de dâhil olmak üzere tüm parçacıklara uyguladığınızda ortaya şaşırtıcı bir durum çıktığı halde (Çünkü belli bir makine ya da zihin tüm sonuçları aynı anda benimsemiş gözükecektir.), Everett, Schrödinger matematiğini dikkatli yorumlamanın bizi bambaşka bir noktaya götüreceğini bulmuştur: İçinde giderek artan sayıda evrenlerin bulunduğu bereketli bir gerçekliğe.

Everett'in 1957 tarihli makalesi basılmadan önce, hazırlık aşamasındaki bir kopyası dünyanın çeşitli yerlerindeki bir grup fizikçiye ulaşmıştı. Wheeler'ın danışmanlığında, makalenin dili öylesine acımasızca kısaltılmıştı ki makaleyi okuyanların çoğu Everett'in matematiğin gösterdiği evrenlerin hepsinin gerçek olduğunu iddia edip etmediğinden emin olamadılar. Everett bu yanlış anlaşılmanın farkına varınca durumu açıklığa kavuşturmaya karar verdi. Makalesinin basımından hemen önce, büyük ola-

sılıkla Wheeler'ın haberi olmadan iliştirdiği "düzeltme notu"nda, farklı sonuçların gerçekliği üzerine tam olarak ne demek istediğini açık ve net biçimde ifade etti: "Kuramın bakış açısından, tümü ... 'gerçek'tir; hiçbiri diğerinden daha fazla 'gerçek' değildir."[8]

Seçeneklerden Biri Ne Zaman Bir Evrendir?

"Bölünme" ve "klonlanma" gibi birden fazla anlam yüklenmiş sözcüklerin yanı sıra, bu ikinci tür öykümüzde yer alan iki büyük sözcük daha var: "dünya" ve bu gibi bağlamlarda onun yerine aynı anlamda kullandığımız "evren". Bu kullanımın ne zaman uygun olacağına ilişkin bir kılavuz var mı acaba? İki ya da daha çok sivri yapı bulunan tek bir elektronun olasılık dalgasını düşündüğümüz zaman, iki (ya da daha fazla) dünyadan söz etmiyoruz. Aksine, içinde konumu belirsiz bir elektron barındıran yine tek bir dünyadan –bizim dünyamızdan– söz ediyoruz. Buna rağmen Everett'in yaklaşımında bu elektronu ölçer ya da gözlemlersek, çoklu dünyalardan söz etmiş oluruz. Peki, ölçülmüş ve ölçülmemiş parçacıkları birbirlerinden ayırarak böylesine köklü tanım farklılıklarına yol açan nedir?

Akla gelebilecek ilk yanıt, tek bir elektron üzerine ikinci tür bir öykü anlatamayacağımızdır çünkü herhangi bir ölçüm ya da gözlem yapmadan yalnızca insan deneyimiyle söylenebilecek bir şey olamaz. Burada ihtiyaç olan tek şey, Schrödinger'in matematiği doğrultusunda değişen olasılık dalgası hakkında birinci türde bir öyküdür. İkinci türde bir öykü olmadan çoklu gerçekliklerden söz edebilmenin bir yolu yoktur. Bu açıklama yeterli olsa da konuyu biraz daha açmak iyi olabilir çünkü böylece çok sayıda parçacık işin içine girince, kuantum dalgalarının kendilerine özgü bir niteliği de ortaya çıkmaktadır.

Bunu tam olarak anlayabilmek için, geriye dönüp, Şekil 8.2 ve 8.4'te verilen çift-yarık deneyine bakmakta yarar var. Hatırlarsanız, bir elektronun olasılık dalgası bir engelle karşılaşıyor ve yarıktan çıkan iki dalga parçası dedektör ekranına doğru yol alıyordu. Çoklu dünyalar tartışmamızdan esinlenecek olursanız, yol alan iki dalganın her birinin ayrı bir gerçekliği temsil ettiğini dü-

şünebilirsiniz. Bunlardan birinde elektron sol yarıktan, diğerinde sağ yarıktan geçmekteydi. Ancak, çabucak fark edeceksiniz ki bu sözde "farklı gerçeklikler"in birbiriyle karışması deneyin sonucunu derinden etkilemektedir; oluşan girişim deseninin nedeni bu birbirine karışma durumudur. Bu nedenle, iki dalga yörüngesinin farklı evrenlerde olduklarını söylemek bir anlam ifade etmemekte ve işin iç yüzünü kavramamıza yardımcı olmamaktadır.

Deneyi değiştirir ve her bir yarığın arkasına elektronun geçip geçmediğini belirleyen bir ölçüm cihazı koyarsak durum önemli ölçüde değişir. Bu defa büyük ölçekli bir ölçüm cihazı söz konusu olduğundan, elektronun aldığı iki ayrı yol çok sayıda parçacıkta değişikliğe yol açar –konulan ölçüm cihazının ekranındaki çok sayıda parçacık, "elektron sol yarıktan geçti" ya da "elektron sağ yarıktan geçti" gibi bilgileri kodlar. Bu nedenle de her bir olasılık için olasılık dalgaları o kadar farklı hale gelir ki birbirlerini takip eden bir anda etkilemeleri söz konusu olamaz. Şekil 8.16a'da olduğu gibi, ölçüm cihazlarındaki milyarlarca ve milyarlarca parçacığın aralarındaki farklılıklar, iki ayrı sonucun dalgalarının göz ardı edilebilecek kadar küçük çakışmalar verecek şekilde birbirlerinden ayrılmalarına yol açar. Hiç çakışma olmadan, dalgalar kuantum fiziğinin ayırt edici özelliği olan girişim olgusunu gerçekleştiremezler. Konulan ölçüm cihazlarıyla elektronlar artık Şekil 8.2c'de görülen şerit desenini veremez, bunun yerine Şekil 8.2a ve Şekil 8.2b'de görülen sonuçların basit, birbiriyle girişim oluşturmayan bir karışımını verirler. Fizikçiler bunu olasılık dalgalarının *evre uyumsuz hale gelmesi* (decoherence) olarak ifade eder (Bununla ilgili daha ayrıntılı bilgi edinebileceğiniz bir kaynak olarak *Evrenin Dokusu*'nda VII. Bölüm'ü önerebilirim.).

O halde evre uyumsuzluğu devreye girdi mi her bir sonuca karşılık gelen dalgalar birbirlerinden bağımsız olarak değişim geçirir –farklı olası sonuçlar arasında herhangi bir karışma olmaz– böylece her bir sonuç kendi başına bir dünya ya da evrendir. Bu türden evrenlerden birinde elektron sol yarıktan geçer, ölçüm cihazı bunu ölçer ve "sol" olarak ekrana yansıtır; diğer ev-

rende ise elektron sağ yarıktan geçer, ölçüm cihazı bunu ölçer ve "sağ" olarak ekrana yansıtır.

Bu anlamda ve sadece bu anlamda, Bohr'la bir uyuşma vardır. Çoklu Dünyalar yaklaşımına göre, çok sayıda parçacıktan oluşmuş büyük cisimler, tek ya da çok az sayıda parçacıktan oluşmuş küçük cisimlerden ayrılırlar. Bohr'un düşündüğü gibi, büyük cisimler kuantum mekaniğinin temel matematik yasasından bağımsız ele alınamazlar, ancak, büyük cisimler olasılık dalgalarının yeterince değişmesine olanak sağladıkları için bu dalgaların birbirleriyle girişimleri önemsenmeyecek kadar azalır. İki ya da daha fazla dalga birbirlerini etkileyemediği zaman birbirleri için görünmez olurlar; her biri diğerinin yok olduğunu "düşünür". Bu nedenle Bohr, ölçüm yapıldığında biri hariç diğer sonuçların hepsi yok olur biçiminde kesin yargıda bulunurken, evre uyumsuzluğu kavramıyla sürece bakan Çoklu Dünyalar yaklaşımı her bir evren içinde sanki diğer sonuçların yok olmuş gibi *gözüktüğünü* savunur. Her bir evrende, sanki olasılık dalgası çökmüş *gibidir.* Kopenhag yaklaşımıyla kıyaslandığında ise bu "gibi" durumu, gerçekliğin enginliğinin çok farklı bir resmini çizer. Çoklu Dünyalar yaklaşımında, yalnızca biri değil, tüm sonuçlar gerçekleşmektedir.

En İleri Araştırmalardaki Belirsizlik

Aslında burası bu bölümü bitirmek için iyi bir yer olabilirdi. Kuantum mekaniğinin matematik yapısının bizi paralel evrenlerin yeni bir yorumuna nasıl taşıdığını gördük. Ancak, birazdan da göreceğiniz gibi, bu bölümde hâlâ açıklanması gereken bazı konular var. Bu sayfalarda, kuantum fiziğine yönelik Çoklu Dünyalar yaklaşımının neden tartışmalı açıklayacağım; gösterilen direncin aslında gerçeklikle ilgili tamamen yeni bir bakış açısına karşı duyulan tedirginlikten çok öte bir şey olduğunu göreceğiz. Fakat bu kadarı yeter deyip bir sonraki bölüme geçmek isteyebilirsiniz diye kısa bir özet vereyim.

Gündelik hayatımızda çeşitli olasılıklarla karşı karşıya kalıp hangisinin gerçekleşeceğini bilemediğimiz durumlar vardır.

Bazen elimizde hangi sonuçların üç aşağı beş yukarı gerçekleşeceğine ilişkin yeterli bilgi olabilir ve bu görüşleri olasılık hesaplamalarıyla sayısal olarak ifade edebiliriz. Bir şeyin olacağına ya da olmayacağına ilişkin tahminlerimizin doğru çıkması durumunda olasılıklara olan güvenimiz artar. Çoklu Dünyalar yaklaşımının karşı karşıya kaldığı güçlük, olasılık kavramını –kuantum mekaniğinin olasılıksal öngörülerini– tamamen farklı bir bağlamda, *tüm* olası sonuçların gerçekleşeceğini öngören bir bağlamda anlamlandırabilmesidir. İkilemi ifade etmek basittir: Bütün sonuçlar gerçekleşirken, bazı sonuçların olası olduğunu, bazılarının ise olmadığını nasıl söyleyebiliriz?

Geri kalan alt başlıklarda, konuyu daha ayrıntılı olarak ele alacağım ve bu konuya ilişkin açıklamalara değineceğim. Ancak şu konuda uyarayım: Şu anda en ileri araştırmaların alanına giriyoruz ve geldiğimiz nokta itibarıyla görüşler çok geniş ölçüde çeşitlilik gösterebilir.

Olası bir Sorun

Çoklu Dünyalar yaklaşımına sık sık getirilen eleştirilerden biri, gerçek olamayacak kadar abartılı olduğudur. Fizik tarihinin bize öğrettiği şey, başarılı kuramların basit ve zarif oldukları, verileri olabilecek en az sayıdaki varsayımla açıklayıp kesin ve ekonomik bir kavrayış sağladıklarıdır. İçinde evren bolluğundan geçilmeyen bir kuram bu tür bir ilkenin çok dışında kalmaktadır.

Çoklu Dünyalar yaklaşımını destekleyenler, makul bir şekilde, bir bilimsel önerinin karmaşık olup olmadığını değerlendirirken önerinin *imalarına* bakmamak gerektiğini savunurlar. Önemli olan önerinin temel özellikleridir. Çoklu Dünyalar yaklaşımı her zaman tek bir denklemin –Schrödinger denkleminin– tüm olasılık dalgalarını açıklayabildiğini varsaymaktadır; bu nedenle de formülasyonundaki basitlik ve varsayımlarındaki ekonomiklik söz konusu olduğunda bu yaklaşımın önüne geçilemez. Kopenhag yaklaşımı daha basit değildir. O da Schrödinger denklemini kullanır ama denklemi ne zaman bir tarafa koymanız gerektiğine dair belirsiz ve iyi tanımlanamamış bir reçete sunar. Sonra

da olmasını öngördüğü dalga çökmesiyle ilgili daha da az ölçüde ayrıntıya yer veren bir reçete ile karşınıza çıkar. Çoklu Dünyalar yaklaşımının gerçekliği son derece zengin bir biçimde tanımlaması, bu yaklaşımın kara lekesi olarak görülemez. Tıpkı yeryüzündeki zengin yaşam biçimlerinin Darwin'in doğal seçilim kuramına karşı bir kara leke olarak görülememesi gibi. Özünde basit olan mekanizmalar karmaşık sonuçlara yol açabilirler.

Her ne kadar bu, Occam'ın usturasının* Çoklu Dünyalar yaklaşımını kesip atacak kadar keskin olmadığı anlamına gelse de önermede çok sayıda evrenin söz konusu olması potansiyel bir soruna yol açmaktadır. Yukarıda, fizikçiler bir kuramı uygularken aslında iki öykü anlatırlar, demiştim –gerçekliğin matematiksel olarak nasıl ifade edildiğini ve bu matematiğin yaşam deneyimlerinizle nasıl ilişkilendirildiğini anlatan öyküler. Aslında fizikçilerin anlatması gereken ve bu iki öyküyle ilintili bir üçüncü öykü daha var. Bu da belli bir kurama nasıl güvenir hale geldiğimizin öyküsü. Kuantum mekaniği için, üçüncü öykü genellikle şöyle gelişir: bu kurama olan güvenimiz, bu kuramın verileri açıklamadaki olgusal başarısına dayanır. Eğer bir kuantum uzmanı, bir deneyi her tekrarladığımızda bir sonucun diğerinden, söz gelimi 9,62 kez, daha fazla gerçekleşeceğini hesaplamak için bu kuramı kullanırsa, deneyi yapan kişinin göreceği sonuç da kesinlikle bu olacaktır. Bunu tersine çevirecek olursak, sonuçlar kuantum öngörüleriyle örtüşmeseydi, deneyciler kuantum mekaniğinin yanlış olduğu sonucuna varacaklardı. Aslında, dikkatli bilim insanları olarak çok daha temkinli olacaklardı ve kuantum mekaniğinin doğruluğundan şüpheliyiz ama sonuçlarımız da kuramı tam anlamıyla saf dışı bırakmıyor, diyeceklerdi. 1000 kez atılan hilesiz yazı turada bile yazı ya da turadan birinin lehine daha fazla sonuç çıkabilir. Ancak ne zaman sonuçlarda giderek daha fazla sapma olmaya başlarsa, o zaman işin içinde bir hile ol-

* On dördüncü yüzyılda yaşamış İngiliz mantıkçı ve ilahiyatçı Ockham'lı William'ın adından gelen "Occam'ın usturası" (İngilzce: *Occam's razor*; Latince: *lex parsimoniae*) terimi, gerekmediği sürece, yeterince açıklayıcı gücü bulunan daha basit kuramların tercih edilmesi ilkesini ifade eder. "Ustura" sözcüğü gereksiz ayrıntıların kesilerek gerçeğe en sade ve kısa yoldan ulaşılması amacıyla kullanılmıştır (ç.n.).

duğu kuşkusu uyanabilir. Benzer biçimde, kuantum mekaniğinin öngördüklerinden farklılık gösteren ne kadar fazla deneysel sonuç söz konusu olursa, o kadar kuvvetli şekilde kuantum kuramının doğruluğundan şüphe edilebilir.

Kuantum mekaniği çürütülecekse, bunun verilere dayanması gerekir. Uygun biçimde geliştirilmiş ve açıklanmış bilimsel bir kuram önerisinde, en azından ilkesel olarak, şu şu deneyleri yaptığımızda dediğiniz şu sonuçları elde edemiyoruz, bundan dolayı da kurama olan güvenimiz azaldı, denilebilmelidir. Gözlemlerle kuramın öngördükleri arasındaki bağlantı ne kadar azalırsa, kurama olan güven de o kadar sarsılır.

Çoklu Dünyalar yaklaşımındaki potansiyel sorun ve bu sorunun halen tartışmaya açık olmasının sebebi, yaklaşımın, kuantum mekaniğinin güvenilirliğini değerlendirme konusunda yukarıda sözü edilen olanağı ortadan kaldırıyor olmasıdır. Nedenini açıklayalım. Yazı tura attığımda yüzde 50 ihtimalle yazı, yüzde 50 ihtimalle tura geleceğini düşünebilirim. Ancak bu, olağan, bildik bir varsayıma dayalıdır; yazı turayı attığınız zaman tek bir sonuç elde edeceğinize dair varsayıma. Yazı tura attığımda, eğer bir dünyada yazılar, diğer dünyada turalar varsa ve dahası, her bir dünyada benim kopyalarım bu sonuçları izliyorsa, alıştığımız anlamda olasılıklar ne anlam ifade edebilir? Diyelim ki tüm anılarım ve benliğimle aynen benim gibi, ben olduğunu söyleyen biri var ve yazı tura atıldığında yazıyı görüyor. Bir de yine eşit derecede ben olduğuna inanan başka bir ben var, o da turayı görüyor. Her iki sonuç da gerçekleştiği için –bir Brian Greene yazıyı, diğer Brian Greene turayı görüyor– Brian Greene'in ya yazıyı *ya da* turayı görme şansının eşit olduğu, bilindik bir olasılık kavramını bulmak mümkün değildir.

Aynı durumu, Şekil 8.16b'deki gibi, olasılık dalgası Strawberry Fields ya da Grant's Tomb çevresinde dolaşan bir elektrona da uygulayabiliriz. Geleneksel kuantum mantığına göre, sizin, deneyi gerçekleştiren kişi olarak elektronu bu iki noktanın birinde bulma ihtimaliniz yüzde 50'dir. Ancak Çoklu Dünyalar yaklaşımında her iki sonuç da gerçekleşir. Siz olan bir var-

lık, Strawberry Fields'te bir elektron bulurken, bir başka siz de Grant's Tomb'da bir elektron bulacaktır. O zaman nasıl olur da şu *ya da* bu sonucu görme ihtimalimizin eşit olduğunu söyleyen geleneksel olasılık öngörülerine dayanabiliriz?

Bu konuyla ilk kez karşılaşanlar doğal olarak Çoklu Dünyalar yaklaşımındaki birçok sizden bir tanesinin çok daha gerçek olması gerektiğini düşünürler. Her ne kadar her bir dünyadaki her bir siz birbirinin aynı ve aynı yaşam geçmişine sahipse de sanki bunlardan sadece biri *gerçekten* sizsinizdir, diye düşünülür. Bu düşünce böyle devam eder ve her bir gerçeklikte ilgili bir ve tek sonucu gören *o* siz için olasılık tahminleri işler. Bu tepkiyi anlayışla karşılarım. Yıllar önce bu fikirleri öğrendiğimde ben de aynı tepkiyi vermiştim. Ancak bu gibi tepkilerin mantığı Çoklu Dünyalar yaklaşımının mantığına ters düşmektedir. Çoklu dünyalar çok daha minimalist bir yapıya sahiptir. Olasılık dalgaları tamamen Schrödinger denklemine göre evrilir. Hepsi bu kadar. Sözü edilenlerden birinin "gerçek" siz olduğunu düşünmek, Kopenhag görüşüne yakın bir görüşün arka kapıdan içeri sızması gibidir. Kopenhag yaklaşımındaki dalga çökmesi, olası sonuçlardan yalnızca ve yalnızca bir tanesinin gerçek olmasını kaba bir şekilde sağlamanın bir yoludur. Çoklu Dünyalar yaklaşımında da kalkıp yalnızca bir tane sizin *gerçek* siz olduğunu iddia ederseniz, aynı şeyi yapmış olursunuz, sadece daha alçak sesle. Böylesi bir düşünce, tam da Çoklu Dünyalar sisteminin ortaya atılmasının ardındaki nedeni yok eder. Çoklu Dünyalar, Everett'in Kopenhag yaklaşımındaki zayıf yanları ortadan kaldırma girişiminden doğmuştur. Stratejisi de doğruluğu test edilmiş Schrödinger denkleminin ötesinde başka bir şeye başvurmamaktır.

Bu anlattıklarım Çoklu Dünyaların geçerliği üzerinde çok da rahatlatıcı olmayabilir. Kuantum mekaniğine güvenimiz var çünkü deneyler ortaya atılan olasılıksal öngörüleri destekliyor. Ancak Çoklu Dünyalar yaklaşımında, olasılığın bile nasıl bir role sahip olduğunu kestirebilmek güç. O zaman o üçüncü türden öykü, Çoklu Dünyalar yaklaşımına duyduğumuz güvene dayanak olan öykü, nasıl anlatılmalı? Çıkmaz da burada.

Sonuçta böyle bir duvara çarpmış olmamız şaşırtıcı değil. Aslında Çoklu Dünyalar yaklaşımında işi şansa bırakan bir yan yok. Dalgalar, Schrödinger denklemi ile tamamen belirlenimci (deterministik) bir şekilde tanımlandığı gibi, bir biçimden diğerine değişim gösteriyor. Ne atılan zarlar var ne de rulet dönüyor. Buna karşın Kopenhag yaklaşımında olasılık, net bir şekilde tanımlanmayan ölçümün yol açtığı bir dalga çöküşüyle işin içine giriyor (Tekrarlarsak, belli bir noktada dalganın değeri ne kadar büyükse, dalga çöküşünün parçacığı oraya yerleştirme olasılığı da o kadar yüksektir.). İşte Kopenhag yaklaşımının "zar atma" denilebilecek yanı da bu. Çoklu Dünyalar yaklaşımı dalga çöküşüyle ilgilenmediği için geleneksel olasılık süreçlerine de girmiyor.

Peki, Çoklu Dünyalar yaklaşımında olasılığa yer var mı?

Olasılık ve Çoklu Dünyalar

Everett'e göre elbette vardı. Tezinin 1956'da yazdığı taslağı, aynı şekilde tezin 1957'deki kırpılmış biçimi, olasılığın Çoklu Dünyalar yaklaşımına nasıl bağlanabileceğini anlatıyordu. Ancak aradan geçen yarım yüzyıllık süreye rağmen, tartışma hâlâ sürüyor. Meslek yaşamlarını konu üzerine kafa yorarak geçiren fizikçiler ve felsefeciler arasında Çoklu Dünyalar yaklaşımıyla olasılığın nasıl bir araya gelebileceğini ya da gelip gelemeyeceğini sorgulayan çeşitli görüşler var. Kimlerine göre sorun çözülecek gibi değildir, bu yüzden Çoklu Dünyalar yaklaşımı bir kenara bırakılmalıdır. Kimileri ise olasılığın, en azından olasılık gibi gözüken bir şeyin yaklaşımın bünyesine gerçekten katılabileceğini ileri sürer.

Everett'in ilk önerisi ortaya çıkabilecek güç noktaları dile getiren iyi bir örnektir. Günlük yaşamda olasılığı kullanırız çünkü genellikle yetersiz bilgiye sahibizdir. Yazı tura attığımızda, eğer yeterince doğru bilgiye sahip olsak (paranın net boyutları ve ağırlığı, tam olarak paranın nasıl atıldığı vb.) sonucu söyleyebiliriz. Ancak, genelde böyle bir bilgimiz olmadığı için olasılığa başvururuz. Aynı mantık, hava durumu, piyango ve olasılığın rol oynayabileceği başka örnekler için de geçerlidir: Böy-

le benzer durumlarla ilgili bilgimizin sınırlı olması yüzünden sonuçlara şans olarak bakarız. Everett, olasılıkların Çoklu Dünyalar yaklaşımında da yeri olabileceğini belirtmişti çünkü ona göre tamamen farklı bir şeyden kaynaklanan benzer bir bilgisizlik söz konusuydu. Çoklu Dünyalar'ın içinde yaşayanlar, sadece kendi yaşadıkları gerçekliğe erişebiliyorlardı; diğer gerçeklikleri deneyimleme imkânları yoktu. Everett'e göre, işte bu sınırlı perspektif noktasında olasılık işin içine girebilirdi.

Nasıl olduğunu anlayabilmek için bir süreliğine kuantum mekaniğini bir tarafa bırakıp mükemmel olmasa da işe yarayabilecek bir benzetmeye başvuralım. Zaxtar adlı bir gezegendeki uzaylıların sizin, benim, herhangi birinin bire bir kopyalarını yapabilen bir makine yaptıklarını farz edelim. Klonlama makinesine girip iki tane olarak çıkıyorsunuz ve çıkan iki sizin her biri de gerçek sizin kendisi olduğunu düşünüyor ve her ikisi de haklı. Zaxtarlılar kendilerine göre daha az zeki olduklarını düşündükleri canlıları varoluşlarıyla ilgili ikilemlerde bırakarak eğlenmekten pek hoşlanıyorlar, bu nedenle de yeryüzüne inip size şöyle bir teklifte bulunuyorlar: Bu gece uyuduğunda seni rahatsız etmeden bizim klonlama makinesine koyacağız; beş dakika sonra makineden senin gibi iki kişi çıkacak. Senlerden birisi uyanınca yaşam normale dönecek –ayrıca ne dileğin varsa gerçekleştirilecek. Diğer sen uyanınca ise yaşam normale dönmeyecek; Zaxtar'a götürülüp bir daha çıkmamak üzere bir işkence odasına atılacaksın. Ve şu da var ki şanslı olan klonun, senin kurtulmanı hiçbir şekilde dileyemez. Teklifi kabul ediyor musun?

Çoğu insan için yanıt "hayır"dır. Her bir klon sonuçta gerçekten *siz* olduğunuz için, teklifi kabul ettiğinizde, yaşamı boyunca işkence çekecek bir siz de varsınız demektir. Ama diğer yandan, bir de normal yaşama uyanan ve istediği bir şeyi dilemenin sınırsız gücüne sahip olacak bir siz varsınız. Ancak Zaxtar'a götürülecek diğer siz için işkenceden başka bir şey de olmayacak. Bu ağır bir bedel olur.

Kararsızlığınızı anlayınca, Zaxtarlılar başka bir teklifte bulunuyorlar. Temelde aynı teklif, ama şimdi size bir milyon bir kop-

yanızı yapmayı öneriyorlar. Bir milyon siz, bir milyon benzer dünyada uyanacak, her isteğini gerçekleştirme gücü olacak; sadece bir tane siz Zaxtar'a işkence çekmeye götürülecek. Kabul eder misiniz? Bu noktada, bocalamaya başlarsınız. "Aslında, fena değil," dersiniz, "Zaxtar'a *benim* gitme ihtimalim epey düşük görünüyor, dahası elimde her istediğimi gerçekleştirme gücüm olacak".

İşte bu nokta, Çoklu Dünyalar yaklaşımı açısından önemli. Eğer olasılık kavramı bir milyon bir kopyanızdan sadece bir tanesinin gerçek "siz" olduğunu hayal ettiğinizden dolayı düşüncenize girdiyse, Çoklu Dünyalar yaklaşımını tam anlayamamışsınız demektir. Her bir kopyanız *sizsiniz*. Yüzde 100 kesinlikle, bir sabah uyandığında içinizden biri dayanılmaz bir geleceğe gidecek. Eğer sizi ihtimaller çerçevesinde düşünmeye sevk eden buysa, bu düşünceden kurtulmanız gerek. Bununla birlikte, olasılık, düşüncelerinize daha incelikli bir şekilde de girmiş olabilir. Söz gelimi, Zaxtarlıların teklifini kabul ettiniz ve ertesi sabah uyandığınızda neler olacağını aklınızdan geçiriyorsunuz. Sıcak yorganınızın altında uykudan uyanmış olmakla birlikte, gözlerinizi açmadan Zaxtarlılarla yaptığınız anlaşmayı düşünüyorsunuz. Önce yaşadıklarınızın bir kâbus olduğunu zannediyorsunuz ama sonra hemen bunun gerçek olduğu aklınıza geliyor; bir milyon bir kopyanız şu anda uyanmak üzere ve bir taneniz Zaxtar'a giderken, diğerleriniz olağanüstü bir güce sahip olacak. "Gözlerimi açtığımda Zaxtar'a gönderilme ihtimalim ne kadar acaba?" diye kendi kendinize soruyorsunuz.

Klonlanmadan önce, Zaxtar'a gitmenizin ne kadar olası olduğundan bahsetmenin mantıklı bir yolu yoktur –böyle bir siz kesinlikle olacak, olabilirliğinden nasıl şüpheye düşebilirsiniz ki? Ancak klonlanmadan sonra durum farklı. Her bir klon kendini siz olarak biliyor; gerçekten de her bir siz *gerçek* sizsiniz. Ancak her bir kopyanız aynı zamanda ayrı bir kişilik ve kendi geleceğini sorgulayabilir. Bir milyon bir kopyanızdan her biri *kendisinin* Zaxtar'a gidip gitmeme olasılığını merak edebilir. Her bir kopya, bir milyon bir kopyadan sadece bir tanesinin o kötü geleceğe uyanacağını bildiğinden, böyle bir şeyin kendi başına gelme

olasılığının düşük olduğunu zannediyor. Bir milyon siz uyanınca başına harika bir şey geldiğini görecek, sadece bir tane siz kötü sona gidecek. Zaxtarcı senaryoda gerçi hiçbir şey belirsiz ya da şansa kalmış gibi gözükmüyorsa da –tekrar belirteyim, ne zar atılıyor ne de rulet çarkı dönüyor– yine de olasılık işin içinde gözüküyor. Bu da her bir klonun hangi sonucun başına geleceğini bilmemesinden kaynaklanıyor.

Bu, Çoklu Dünyalar yaklaşımına olasılıkları dahil etmenin bir yolu olduğuna işarettir. Belli bir deneye girişmeden önce, siz klonlanmadan önceki size karşılık gelen durumdasınız. Şimdi kuantum mekaniğinin öngördüğü tüm sonuçları kafanızda değerlendiriyorsunuz ve biliyorsunuz ki yüzde 100 kesinlikle her bir sonuç bir kopyanız tarafından görülecek. Şansa kalmış bir şey değil. Bunun üzerine deneye girişiyorsunuz. O noktada, Zaxtarcı senaryo ile birlikte işin içine olasılık da giriyor. Her bir kopyanız, bağımsız akıllı bir varlık olarak hangi dünyada kalacağını merak etme kapasitesine sahip –yani deneyin sonuçları ortaya çıkınca hangi sonucu göreceğini merak etme kapasitesine. Olasılık her bir sizin öznel deneyimiyle beraber olaya dahil olmaktadır.

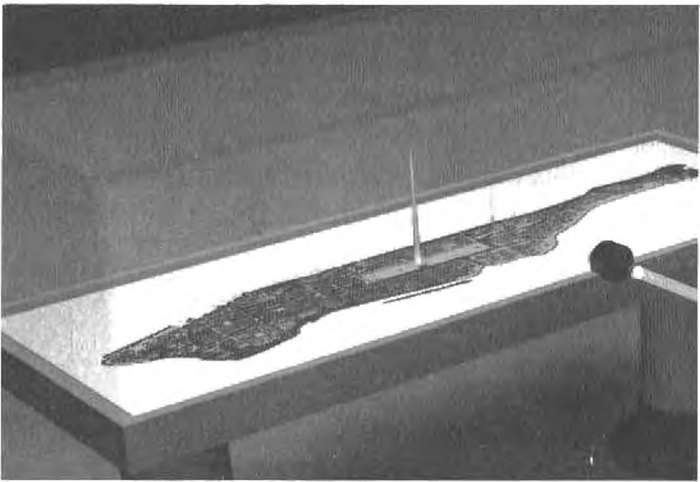
Everett'in yaklaşımı, ki kendisi yaklaşımını "öznel düzeyde tekrar ortaya çıkan" bir olasılık kavramı içeren "nesnel olarak belirlenimci" şeklinde açıklar, bahsettiğimiz strateji ile uyum gösterir. Kendisi de ortaya çıkan açıklamadan heyecan duymuştur. Tezinin 1956'da yazdığı metninde dikkat çektiği üzere, sözü edilen çerçeve, Einstein'ın fikirleriyle (Temel bir fizik kuramının olasılık barındırmaması gerektiğini söyler.) Bohr'un fikirlerini (İçinde olasılık olan temel bir kuramı kucaklamıştır.) birleştirmektedir. Everett'e göre, Çoklu Dünyalar yaklaşımı her iki fikre de yer vermektedir. Tek fark bakış açılarının farklılığıdır. Einstein'ın bakış açısı matematik temelli olanıdır, bütün parçacıkların genel olasılık dalgası Schrödinger denklemi doğrultusunda evrilmektedir, bunun da şansla hiçbir ilgisi yoktur.*

* Şansın hiçbir biçimde söz konusu olmadığı bu bakış açısında, kullandığım "olasılık dalgası" ifadesi yerine daha teknik bir terim olan "dalga fonksiyonu"nun tercih edilmesi gerekmektedir.

Einstein'ı bulunduğu yerden aşağıya, Çoklu Dünyalar'a bakıp, Schrödinger denkleminin tüm olguların açıklanmasında nasıl mükemmel biçimde uygulandığını görüp, memnun bir şekilde, kuantum mekaniği doğru olsa dahi Tanrının *zar atmayacağını* söylerken hayal etmek hoşuma gidiyor. Bohr'un bakış açısı ise yine kendince mutlu bir biçimde, bu evrenlerden birinde yaşayan bir canlının, bilemediği durumlar nedeniyle gözlemlediklerini, akılları durduracak kesinlikte açıklamak için, olasılıklara başvuracağını söylerdi.

Einstein ve Bohr'un kuantum mekaniği konusunda aynı fikirde olduklarını düşünmek büyüleyici. Fakat aradan geçen yarım yüzyılı aşkın süreden beri bazılarının bu fikrin altına imza atamamasının bazı nedenleri var. Everett'in tezini inceleyenler, Everett'in amacı açık olsa da –belirlenimsel fakat çoklu dünyaların içinde yaşayanlara olasılıksal gözüken bir kuram– bunu nasıl gerçekleştireceğini ikna eder bir şekilde açıklamadığı noktasında hemfikirler. Örneğin, VII. Bölüm'de anlattıklarımız kapsamında, Everett çoklu dünyalardan birinde yaşayan "tipik" bir varlığın belli bir deneyde neyi gözlemiş olduğunu belirlemeye çalışıyor. Ancak (VII. Bölüm'de anlatılanlardan farklı olarak) Çoklu Dünyalar yaklaşımında uğraşmamız gereken sakinlerin hepsi aynı kişidir; olguları deneyimleyen sizseniz, diğer bütün dünyalarda da olguları deneyimleyen yine sizsiniz ve bu tüm sizler bir dizi değişik sonuçlar izleyecek. Peki, o zaman "tipik" siz hanginiz?

Zaxtarcı senaryoyu hatırlayıp, doğal olarak, belli bir sonucu gözlemleyen sizleri sayacağız; en çok sayıda siz tarafından gözlemlenen sonuç da böylece tipik olarak nitelendirilebilecek. Ya da daha niceliksel bir yaklaşımla, bir sonucun olasılığını, bu süreci gözlemleyen sizlerin sayısına oranlayacağız. Bazı basit örneklerde bu uygulama işe yarayabilir: Şekil 8.16'da her bir süreci gözlemleyen bir siz varsınız, bu durumda bu ya da öbür sonuçla karşılaşma olasılığınız %50'ye %50'dir. Güzel. Olağan kuantum mekaniği öngörüsü de %50 - %50'dir çünkü iki ayrı noktadaki olasılık dalgasının yüksekliği eşittir.



Şekil 8.17 Sizin ve kullandığınız cihazın birleşmiş olasılık dalgası, farklı büyüklükte birden fazla sivri yapıya sahip bir olasılık dalgasıyla karşılaşıyor.

Ancak, Şekil 8.17'deki gibi, olasılık dalgası yüksekliklerinin eşit olmadığı daha genel bir durum düşünelim. Dalga Strawberry Fields'te Grant's Tomb'da olduğundan yüz kat daha büyükse, kuantum mekaniğine göre elektronu Strawberry Fields'te bulma şansınız yüz kat daha fazladır. Ancak, Çoklu Dünyalar yaklaşımında ölçümünüz Strawberry Fields'i gören bir size, Grant's Tomb'u gören bir başka size işaret edecektir; sizin varlık sayılarınıza dayalı olasılık hâlâ %50 - %50'dir – ki bu da yanlış bir sonuç olur. Uyuşmazlığın nedeni ortada. Şu ya da öteki sonucu gören varlık sayılarınızın olasılık dalgasındaki sivri yapıların sayısına göre belirlenmesi. Ne var ki, kuantum mekaniği olasılıkları başka bir şeye göre hesaplanıyor – sivri yapıların sayısına göre değil, göreceli yüksekliklerine göre. Deneylerin kesin bir şekilde doğruladığı öngörüler ise bu kuantum mekanik öngörüleridir.

Everett bu uyuşmazlığı çözmeye çalışan bir matematiksel yaklaşım geliştirmiş, pek çok kişi de bunu daha öteye taşımıştır.[9] Genel olarak belirtmek gerekirse, fikir şudur: Bu ya da şu sonucun çıkması ihtimalini hesaplarken, Şekil 8.18'de sembolik olarak gösterildiği gibi, dalga yükseklikleri daha az olan evren-

lere daha az ağırlık verilmelidir. Bu biraz kafa karıştırıcı gözükmektedir. Çelişkilidir de aynı zamanda. Elektronu saptadığınız Strawberry Fields'in bulunduğu evren, Grant's Tomb'u saptadığınız evrene göre yüz kat daha hakiki ya da gerçek olması daha muhtemel ya da daha uygun bir evren midir? Her dünyanın diğeri kadar gerçek olduğundan hareket edersek, bu görüşler kuşkusuz tedirginlik yaratmaktadır.

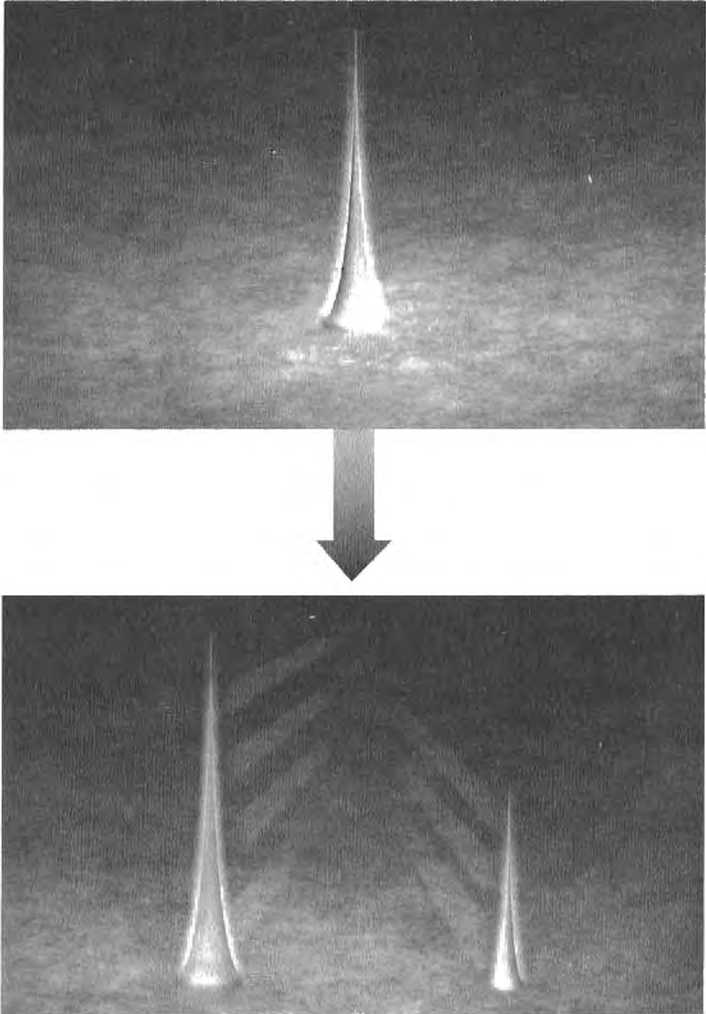
Saygın bilim insanlarının Everett'in savlarını tekrar tekrar ele aldığı, gözden geçirdiği ve geliştirdiği elli yıldan fazla bir süre sonunda bile, pek çok kişi yeterince aydınlanmamış noktaların varlığının sürdüğünü düşünüyor. Yine de matematiksel açıdan basit, net ve devrim niteliğinde bir yaklaşım olan Çoklu Dünyalar yaklaşımının, kuantum mekaniğinin temelindeki olasılık öngörülerine de yer vermesini düşlemek son derece çekicidir. Zaxtarcı mantığı bir tarafa bırakırsak, bunun Çoklu Dünyalar düşüncesini olasılıkla bağdaştırmayı amaçlayan başka fikirlere de esin kaynağı olduğunu belirtmemiz gerek.[10]

Bu yönde önemli sayılacak bir öneri, Oxford'da, aralarında David Deutsch, Simon Saunders, David Wallace ve Hilary Greaves gibi bilim insanlarının bulunduğu önde gelen bir grup araştırmacı tarafından öne sürülmüştür. Bu kişiler, aşağıdaki gibi basitçe yöneltilen bir soruya oldukça ayrıntılı bir yanıt getirmişlerdir. Eğer bir bahisçiyseniz ve de Çoklu Dünyalar yaklaşımına inanıyorsanız, kuantum mekaniği deneyleri üzerinde bahis oynamak için en uygun strateji nedir? Matematiğe dayanarak verdikleri yanıt, Neils Bohr nasıl bahis oynayacaksa o şekilde, olmuştur. Kazancınızı yükseltmek söz konusu olduğunda, araştırmacıların söyledikleri Bohr'u telaşa düşürecek niteliktedir –çoklu evrende yaşayan ve siz olduğunu söyleyen çok sayıda varlık üzerinden alınan bir ortalamadan bahsetmektedirler. Ancak, o zaman bile, Bohr'un ve onun gibi düşünen başkalarının yıllardır hesapladıkları ve olasılıklar olarak tanımladıkları sayılar, sizin nasıl bahse girmeniz gerektiğini belirleyen sayılar olacaktır. Diğer bir deyişle, kuantum kuramı ne kadar belirlenimci olursa olsun, sayılara *sanki* olasılıklarmış gibi bakmanız gerekecek.

Kimilerine göre bu açıklama Everett'in programını tamamlamakta, kimilerine göre ise tamamlamamaktadır.

Çoklu Dünyalar yaklaşımının olasılık konusundaki bu önemli soruna nasıl çözüm getirmesi gerektiği yönünde bir görüş birliğinin olmaması şaşırtıcı değildir. Çözümlemeler son derece tekniktir ve

Matematiksel Öykü



Şekil 8.18 (a) Bir elektronun konumunu ölçtüğünüzde, sizi ve ölçüm cihazınızı meydana getiren parçacıkların birleşmiş olasılık dalgasının Schrödinger denklemi doğrultusunda evriminin şematik gösterimi. Elektronun kendi olasılık dalgası iki ayrı yerde sivri bir yapıya sahiptir, ancak dalga yükseklikleri eşit değildir.

olasılık gibi kuantum kuramının çerçevesi dışında bile son derece kafa karıştırıcı bir konuyu ele almaktadırlar. Zar attığınızda, hepimiz, örneğin 3 gelme olasılığının 6'da 1 olduğunu söyleriz. Dolayısıyla, 1.200 kez zar attığınızda, bunun 200'ü 3 gelecektir. Ancak, 3 gelme olasılığının 200'den sapması söz konusu olabileceği –hatta epey mümkün olabileceği– için bu durumda öngörü ne anlama gelir? Sonuçların 1/6'sında 3 gelme olasılığının yüksek olduğunu söylemek istiyoruz ama bunu söylediğimizde, 3 gelme olasılığını yine olasılık kavramına dayanarak ifade ediyoruz. Yine

Fiziksel Öykü









Şekil 8.18 (b) Bazı görüşlere göre, Çoklu Dünyalar yaklaşımında eşit olmayan dalga yükseklikleri, bazı dünyaların diğerlerine göre daha az hakiki ya da daha az ilişkili olduğunu göstermektedir. Bunun ne anlama geldiği de tartışma konusudur.

başladığımız noktaya geldik. Görüldüğü gibi, işin matematiksel karmaşıklığının ötesinde, bir de kavramsal olarak zor anlaşılır bir durumu var. Ortadaki bir sürü görüşe bir de Çoklu Dünyalar yaklaşımını ve hiçbir biçimde tek bir varlığa işaret etmeyen "siz" kavramını ekleyin, sonra da araştırmacılar işin içinden çıkmaya çalışsın. Bir gün –ancak hemen ya da yakın bir gelecekte değil– her şeyin tamamen açıklık kazanacağına dair çok az şüphem var.

Öngörüler ve Anlamak

Tüm bu tartışmalara karşın, kuantum mekaniği düşünce tarihindeki diğer kuramlar kadar başarılı bir kuramdır. Bunun nedeni, gördüğümüz gibi, laboratuvarda yapabileceğimiz deneylerde ve astrofizik süreçlerle ilgili gözlemlerde test edilebilir sonuçlar veren bir "kuantum algoritması"na sahip oluşumuzdur. Schrödinger denklemini kullanıp ilgili olasılık dalgalarını hesaplayabilir ve sonuçları –farklı dalga yüksekliklerini– şu ya da bu sonuca varma olasılığını hesaplamak için kullanabiliriz. Öngörüler söz konusu olduğunda, bu algoritmanın nasıl olup da işe yaradığı –dalganın ölçüm nedeniyle çöküp çökmediği, tüm olasılıkların kendi evreninde gerçekleşip gerçekleşmediği, başka süreçlerin devreye girip girmediği– ikinci planda kalmaktadır.

Bazı fizikçiler bu gibi konuların ikinci planda kalmasının bile bu konulara önem kazandırdığı görüşündedir. Onlara göre, fizik *yalnızca* öngörüde bulunur, farklı yaklaşımlar bu öngörüleri etkilemediği sürece hangisinin en doğru olduğuyla neden bu kadar ilgilenelim? Bu konuda üç düşüncemi ifade edeceğim.

Birincisi, öngörüde bulunmanın ötesinde fizik kuramları matematiksel olarak uyumlu ve tutarlı olmalıdır. Kopenhag yaklaşımı cesur bir girişim olsa da bu standardı karşılama açısından başarısızdır: Gözlem yapılan kritik anda, matematiksel bir sessizliğe bürünmektedir. Bu çok önemli bir boşluktur. Çoklu Dünyalar yaklaşımı bu boşluğu kapatmaya çalışmaktadır.[11]

İkincisi, Çoklu Dünyalar yaklaşımının öngörüleri bazı durumlarda Kopenhag yaklaşımının öngörülerinden *ayrılmaktadır*. Kopenhag yaklaşımındaki çökme süreci, Şekil 8.16a'daki dalgayı tek

sivri yapıya sahip olacak şekilde yeniden düzenleyecektir. Şekilde gösterilen –büyük ölçekte birbirinden farklı durumları temsil eden– iki dalganın, Şekil 8.2c'deki desene benzer bir desen oluşturacak biçimde girişmesine yol açabiliyorsanız, Kopenhag yaklaşımında varsayılan dalga çökmesi olmuyor demektir. Daha önce de söz ettiğimiz gibi, evre uyumsuzluğu nedeniyle bunu yapabilmek son derece güç bir iştir, ama en azından kuramsal olarak söylemek gerekirse, bu noktada Kopenhag yaklaşımıyla Çoklu Dünyalar yaklaşımı farklı sonuçlar verecektir.[12] Bu, ilkesel açıdan önemli bir noktadır. Kopenhag yaklaşımı ve Çoklu Dünyalar yaklaşımı genellikle kuantum mekaniğinin farklı "yorumları" olarak görülürler. Bu, dilin tamamen kötüye kullanılmasıdır. İki yaklaşım farklı öngörülere yol açıyorsa, bu yaklaşımları basitçe "yorum" olarak niteleyemezsiniz. Hoş, niteleyebilirsiniz. Zaten insanlar bunu yapıyor. Fakat kullanılan terminoloji hiç de uygun değil.

Üçüncüsü; fizik sadece öngörülerde bulunmak için değildir. Günün birinde, parçacık fiziği deneylerimizin ve gökbilim gözlemlerimizin sonuçları üzerine her koşulda doğru ve güvenilir öngörüler sağlayan bir kara kutu bulsak, bu kara kutunun varlığı incelenen konular üzerinde araştırma yapma gereğini ortadan kaldırmayacaktır. *Öngörüde bulunmakla* bunları *anlamak* arasında fark vardır. Fiziğin güzelliği, var olma nedeni evrendeki şeylerin *neden* davrandıkları biçimde davrandıklarını açıklamaktır. Davranışlar üzerine öngörüler geliştirme yeteneği, kuşkusuz, fiziğin önemli bir gücüdür, ancak gözlemlediklerimizin altında yatan saklı gerçekliği anlamamızı sağlamazsa, fiziğin özü kaybolur. Çoklu Dünyalar yaklaşımı doğruysa, öngörüleri anlama yolundaki sarsılmaz kararlılığımız ne muhteşem bir gerçekliği ortaya çıkarmış olur.

Kuantum mekaniği kapsamında gerçekliği açıklamaya çalışan yaklaşımlardan biri üzerinde –tek bir evren, bir çoklu evren ya da başka bir yaklaşım üzerinde– kuramsal ya da deneysel bir görüş birliği sağlandığını görecek kadar yaşayacağımı zannetmiyorum. Ancak şundan hiçbir kuşkum yok: Gelecek kuşaklar yirminci ve yirmi birinci yüzyılda yaptığımız çalışmalarımıza ortaya çıkacak son resmin temellerini atan çalışmalar olarak bakacaklardır.

IX. Bölüm

Kara Delikler ve Hologramlar

Holografik Çoklu Evren

Platon bizim dünya görüşümüzü loş bir mağara duvarına yansıyan gölgeleri seyreden atalarımızınkine benzetmiştir. Platon'a göre, izlediklerimiz aslında erişemediğimiz çok daha zengin bir gerçekliğin soluk izleridir. İki bin yıl sonra, Platon'un mağarası bir metafordan çok daha öte gibi görünüyor. Platon'un önermesini tersine çevirecek olursak: Gerçeklik –yalnızca gölgesi değil– uzaktaki bir sınır yüzeyinde meydana geliyorken, bizim bilinen üç uzaysal boyutta gördüğümüz her şey o uzakta meydana gelen gerçekliğin yansımasıdır. Diğer bir deyişle, gerçeklik bir hologram olabilir. Ya da hakikaten holografik bir film.

Muhtemelen en garip paralel dünya adayı olan *holografik ilke*, deneyimlediğimiz her şeyin, tamamen ve denk bir biçimde ince ve uzak bir yerde gerçekleşen olaylar ve süreçler üzerinden tanımlanabileceğini öngörür. Bu ilkeye göre, eğer o uzak yüzeydeki fiziğe hükmeden yasaları ve oradaki olguların burada ya-

şadıklarımızla olan bağlantısını çözebilseydik, gerçeklik hakkında bilinmesi gereken her şeyi bilebilirdik. Gerçeklik, Platon'un gölge dünyasının bir türü –günlük olguların paralel ancak tamamıyla alışılagelmedik bir açıklaması– *olurdu.*

Bu kendine özgü olasılığa yapılan yolculukla, derin ve birbirinden uzak –genel görelilikle ilgili kavrayışları, kara deliklerle ilgili araştırmaları, termodinamiği, kuantum mekaniğini ve son olarak da sicim kuramını kapsayan– gelişmeleri bir araya getirmektedir. Bu birbirinden uzak alanları ilişkilendiren kuantum evrenindeki bilginin doğasıdır.

Bilgi

John Wheeler, dünyanın en yetenekli genç bilim insanlarını (Wheeler'ın öğrencileri arasında Hugh Everett'in yanı sıra, Richard Feynman, Kip Thorne ve biraz sonra göreceğimiz gibi, Jacob Bekenstein da vardı.) bulup onlara yol göstermede usta olmanın yanı sıra, doğanın işleyişiyle ilgili, araştırılmasıyla temel paradigmalarımızı değiştirecek konuları saptamada da inanılmaz bir beceriye sahipti. 1998'de Princeton'da yediğimiz bir öğle yemeği sırasında, kendisine önümüzdeki yarım asırlık dönem içerisinde fiziğin gündemine oturacak başlıca konunun ne olacağını tahmin ettiğini sordum. Sık sık yaptığı gibi o gün de başını aşağıya eğdi, sanki yaşlanan vücudu o müthiş zekâsını taşımakta zorlanıyordu. Ancak bu kez sessizliği beni düşündürdü. Yanıt vermek mi istemiyordu, soruyu mu unutmuştu, merak ettim. Sonra yavaş yavaş başını kaldırıp bana baktı ve ağzından tek bir sözcük çıktı: "Bilgi".

Doğrusu şaşırmamıştım. Wheeler bir süredir, yeni yetişen bir fizikçinin standart akademik ders programında öğrendiklerine benzemeyen bir fizik yasası görüşünün savunuculuğunu yapıyordu. Geleneksel olarak, fizik *cisimlerle* ilgilenir –gezegenler, kayalar, atomlar, parçacıklar, alanlar– ve bu cisimlerin davranışlarını etkileyen ve birbirleriyle etkileşimlerini düzenleyen kuvvetleri araştırır. Wheeler'a göre, *cisimlerin* –madde ve radyasyon– önemi ikinci plandaydı; bunlar yalnızca çok daha soyut ve temel bir özün taşıyıcılarıydılar: Bilginin. Wheeler, madde ve radyas-

yonun boş şeyler olduğunu söylemiyordu; söylediği, bunların aslında çok daha temel başka bir şeyin somut göstergeleri olduğuydu. Ona göre, bilgi –parçacığın nerede olduğu, hangi yönde dönüye sahip bulunduğu, yükünün pozitif mi yoksa negatif mi olduğu vb.– gerçekliğin özünü oluşturuyordu. Bu bilginin belli bir konuma sahip, belli bir dönüsü ve yükü olan parçacıklarda somutlaşmış olması, bir mimarın yaptığı taslak çizimlerin bir gökdelen halinde somutlaşması gibi bir şeydi. Temel bilgiler bu taslaklarda gizliydi. Gökdelen, mimarın çizimindeki temel bilgilerin fiziksel olarak somut hale gelmesinden başka bir şey değildi.

Bu çerçeveden bakıldığında, evren bir bilgi işlemcisi gibi düşünülebilir. Cisimlerin şu an nasıl oldukları bilgisini alır ve bir sonraki "şu an"da, hatta daha sonraki "şu an"larda cisimlerin nasıl olacağının bilgisini üretir. Duyularımız, zaman içinde fiziksel çevrenin nasıl değiştiğini izleyerek böylesi bir sürecin farkına varır. Ne var ki fiziksel çevrenin kendisi de belirmiş (emergent) bir şeydir: Temel bileşeni olan bilgiden doğup temel kurallara, yani fizik yasalarına göre değişim geçirir.

Böylesi bilgi temelli bir kuramsal görüş, Wheeler'ın öngördüğü gibi fizikte hakimiyet kazanır mı bilemiyorum. Ancak son zamanlarda, büyük çoğunlukla fizikçi Gerard't Hooft ve Leonard Susskind'in çalışmaları neticesinde düşünce sistemimizde büyük bir değişim yaşandı. Bu değişime alışılmışın dışında bir bağlam olan kara deliklerde bilgiye ilişkin kafa karıştırıcı sorular yol açtı.

Kara Delikler

Genel görelilik kuramının yayınlanmasından bir yıl sonra, Alman gökbilimci Karl Schwarzschild, Einstein'ın denklemlerinin ilk kesin çözümüne ulaştı. Ulaşılan sonuç yıldız ya da gezegen gibi büyük kütleli küresel bir cismin çevresindeki uzayın ve zamanın biçimini belirlemekteydi. Schwarzschild'in bu sonucu Birinci Dünya Savaşında Rus cephesindeki top atışlarının aldığı yolu hesaplarken bulması kadar, ustayı kendi oyununda yenmesi de epey kayda değerdi: Şöyle ki Einstein genel görelilik denklemlerine ancak bazı yaklaşık çözümler bulabilmişti. Bun-

dan çok etkilenen Einstein, çalışmayı Prusya Akademisi'ne sunarak Schwarzschild'in başarısını herkese duyurdu. Fakat buna rağmen, daha sonra Schwarzschild'in en önemli mirası sayılacak bir noktanın önemini fark etmedi.

Schwarzschild'in ulaştığı sonuç, Güneş ve Dünya gibi bildiğimiz cisimlerin yokluğu durumda düz olan uzay-zaman trampolininde bu cisimlerin hafif bir eğrilik ortaya çıkardığını gösteriyordu. Bu bilgi, Einstein'ın daha önce elde ettiği yaklaşık sonuçlarla uyuşuyordu, ancak yaklaşık değerlerle kalmak istemeyen Schwarzschild daha fazlasına ulaşmıştı. Denklemlerin tam çözümü, son derece şaşkınlık verici bir şeyi de ortaya koyuyordu: Kâfi büyüklükte bir kütle, yeterince küçük bir yuvarlağın içine tıkılırsa, kütleçekimsel bir derin oyuk oluşacaktı. Uzay-zaman eğriliği o denli artacaktı ki yanındaki her şey bu derin oyuğun içine düşecekti. Bu "her şey"e ışık da dahil olduğundan bu tip bölgeler kararacaktı. Bu nedenle, ilk başlarda bu bölgelere "kara yıldızlar" denildi. Aşırı derecedeki bir eğrilme, yıldızın kenarlarında zamanın durmasına yol açacaktı; bu yüzden bir başka ifade olan, "donmuş yıldızlar" terimi ilk başlarda kullanılmıştır. Bundan yarım yüzyıl sonra, fizikte olduğu kadar pazarlamada da başarılı olan Wheeler, bilimsel çevrelerde de bilimsel çevrelerin dışında da bu yıldızları yeni ve şimdi de kullandığımız bir terimle tanıttı: Kara delikler. Terim tutmuştu.

Einstein, Schwarzschild'in makalesini okuduğu zaman, yıldızlara ve gezegenlere uygulanan matematiği uygun bulmuştu. Fakat bizim bugün kara delikler olarak adlandırdığımız şeylere gelince ne oldu? Einstein dudak büktü. O günlerde, Einstein için bile, genel göreliliğin o son derece karmaşık matematiğini tam olarak anlayabilmek kolay değildi. Kara deliklere dair modern anlayışın gelişmesine on yıllar vardı. Bu yüzden, denklemlerden çok açık ortaya çıkmasına karşın, uzayın ve zamanın yüksek derecede bükülmesi, Einstein'a göre, gerçek olamayacak kadar radikal bir düşünceydi. Einstein, birkaç yıl sonra kozmik genişlemeye karşı çıkacağı gibi, maddenin böylesi uç konfigürasyonlarının –kendi matematik denklemlerine dayanan– kontrol-

den çıkmış matematiksel işlemlerden öte bir şey olduğuna inanmayı reddediyordu.[1]

Şimdi sayıları görünce, siz de Einstein'a hak verebilirsiniz. Güneş gibi cüsseli bir yıldızın kara delik haline gelebilmesi için üç kilometre çapı olan bir küresel yapının içine sığdırılması gerekirdi. Dünya gibi büyük bir kütle ise yalnızca bir santimetrelik bir çapın içerisine sıkıştırılması durumunda bir kara delik halini alabilirdi. Maddenin böylesi uç noktalarda düzenlemelere tabi tutulabilmesi saçmalıktan başka bir şeye benzemiyordu. Ne var ki, o zamandan bu yana gökbilimciler kara deliklerin hem gerçekten var olduklarını hem de sayıca çok olduklarını gösteren sayısız gözleme dayalı kanıt topladılar. Artık pek çok kimsenin de katıldığı gibi, çok sayıda gökada enerjilerini merkezlerindeki büyük bir kara delikten almaktadır. Samanyolu gökadamızın ise kütlesi Güneş'in üç milyon katı olan bir kara deliğin etrafında dolandığı düşünülmektedir. IV. Bölüm'de söz edildiği gibi, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın da laboratuvar ortamında büyük bir hızla çarpışan protonların kütlesini (ve enerjisini) küçücük bir hacme sığdırarak mini kara delikler üretebilme şansı bulunmaktadır. Bu, Schwarzschild'in söylediklerinin mikroskobik bir ölçekte uygulanışıdır. Matematiğin, kozmosun karanlık köşelerini aydınlatmadaki yeteneğinin olağanüstü bir işareti olan kara delikler, modern fiziğin dikkatleri üzerinde toplayan bir alanı haline gelmiştir.

Kara delikler, gözlemsel gökbilim için büyük bir lütuf olmalarının yanı sıra, kuramsal çalışmalar için de doğanın en sıra dışı ortamlarından birini kâğıt üzerinde keşfetmeye çalışan fizikçilerin fikirlerini sınırlarına ulaştırabilecekleri matematiksel bir alan sağlayarak zengin bir ilham kaynağı oluştururlar. Konumuzla ilgili önemli bir örnek olarak: 1970'lerin başlarında Wheeler, doğruluğuna büyük güven duyulan ve yüz yıldan fazla bir süredir enerji, iş ve ısı arasındaki etkileşimi anlamada yol gösterici nitelikteki Termodinamiğin İkinci Yasası'nın kara deliğin yakınlarına uygulandığında bocalamaya başladığını fark etti. Neyse ki Wheeler'ın genç doktora öğrencisi Jacob Bekenstein'ın taze ba-

kış açısı imdada yetişti ve böylece holografik evren düşüncesinin ilk tohumlarını atmış oldu.

İkinci Yasa

"Az ama öz" deyişindeki anlamı ifade etmenin değişik biçimleri vardır. "Şunun bir yönetici özetini yapalım", "Sadece gerçeklere değinelim", "Ama çok fazla bilgi var", "Daha başından anlamıştım" gibi. Bu gibi sözleri sık sık kullanırız çünkü gündelik yaşantımızda sürekli bir bilgi bombardımanına tutuluruz. Neyse ki duyularımız çoğu kez lüzumsuz ayrıntılardan çok, gerçekten gereken ayrıntılara odaklanır. Issız bir alanda aniden bir aslanla karşılaşsam, aslanın vücudundan yansıyan her bir fotonla tek tek ilgilenmem. Bunlar fazla, gereksiz ayrıntılardır. O fotonların, gözlerimizin görmeye beynimizin de çabucak çözümlemeye koşullandığı genel özelliklerine odaklanırım. Aslan bana doğru mu geliyor? Sinsi sinsi mi ilerliyor? Bana saniyesi saniyesine her yansıyan fotonun bilgisini verin ve böylelikle ben de her ayrıntıya hâkim olabilirim. Fakat en basit bir kavrayışa dahi sahip olamam. Bu nedenle, az, gerçekten de öz demektir.

Kuramsal fizikte de benzer bir mantık önemli rol oynar. Bazen üzerinde çalıştığımız bir konunun her türlü ince ayrıntısına vakıf olmak isteriz. Fizikçiler, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın yirmi yedi kilometre uzunluğundaki tünelinde parçacıkların kafa kafaya çarpıştığı noktalarda, üretilen parçacık kırıntılarının hareketlerini büyük bir hassasiyetle takip edip kaydedebilen devasa dedektörler yerleştirmişlerdir. Parçacık fiziğinin temel yasalarıyla ilgili bilgi edinebilmek için gerekli olan veriler o kadar ayrıntılıdır ki bir yıllık bilgileri kaydetmek için kullanacağınız DVD'ler Empire State Binasının elli katı kadar bir yüksekliğe ulaşır. Ancak, tıpkı aslanla karşılaşıldığında olduğu gibi, fizikte de çok ince ayrıntıların konuyu açıklığa kavuşturmak şöyle dursun, tam tersine bulanıklaştırdığı durumlar vardır. On dokuzuncu yüzyıl fiziğinin bir dalı olan *termodinamik* ya da daha modern haliyle *istatistiksel mekanik* işte bu tür sistemlerle ilgilenmektedir. Termodinamiğin –aynı zamanda da Endüstri Devrimi'nin–

ilk başlarındaki ilerlemelere neden olan bir teknolojik ürün olan buhar motoru bu tür sistemlere iyi bir örnek oluşturur.

Buhar motorlarının özünde bir kazan su buharının ısındıkça genleşip makinenin pistonunu ileri itmesi ve soğudukça büzülüp pistonu ilk konumuna döndürerek bir kez daha ileri itilmeye hazır hale getirmesi vardır. On dokuzuncu yüzyılın sonlarıyla yirminci yüzyılın başlarında fizikçiler maddenin moleküler yapısı üzerinde çalışmışlar, başka şeylerin yanı sıra, buharın hareketlerinin de mikroskobik özelliklerini ortaya koymuşlardır. Buhar ısıtılınca, H_2O molekülleri giderek artan bir hız kazanır ve bu hızla pistonun altına basınç uygularlar. Bu moleküller ne kadar sıcak olursa, o kadar hızlı hareket ederler ve itişleri de o kadar güçlü olur. Termodinamiğin basit ancak önemli bu ilkesi şudur ki buharın uyguladığı kuvveti anlamak için hangi moleküllerin şu ya da bu hıza ulaştıkları ya da tam olarak hangi moleküllerin gidip pistonu hangi noktalarda ittiği gibi ayrıntılı bir bilgiye ihtiyacımız yoktur. Bana milyarlarca molekülün izlediği yolların bir dökümünü verseniz, aynen yukarıdaki örnekte aslandan yansıyan fotonları listelemişsiniz gibi yüzünüze boş boş bakardım. Pistonun itilişini anlamak için yalnızca belli bir zaman aralığında pistonu iten ortalama molekül sayısına ve bunların ortalama hızına ihtiyaç duyarım. Belki bunlar çok genel verilerdir ama işime yarayacak olanlar da bunlardır.

Fizikçiler, daha üst düzey bütüncül bir anlayıştan yana olarak, gereksiz ayrıntıları sistematik biçimde ayıklayacak matematiksel yöntemler geliştirmek için çeşitli teknikler denemiş ve bir dizi güçlü kavram geliştirmişlerdir. Bu kavramlardan biri, daha önceki bölümlerde de sözü edilen *entropi* kavramıdır. On dokuzuncu yüzyılın ortalarında yanmalı motorlarda enerji kaybını hesaplamak amacıyla ortaya atılan ve Ludwig Boltzmann'ın 1870'lerdeki çalışmasından doğan modern görüşe göre entropi belli bir sistemin sahip olduğu genel görünümün gerçekleşmesi için sistemin bileşenlerinin ne kadar iyi düzenlendiğinin –ya da düzenlenmediğinin– tanımlanmasını sağlar.

Bunu daha iyi anlayabilmek için şöyle bir örnek verelim: Felix'in aklı başından gitmiştir çünkü Oscar'la paylaştığı da-

ireye hırsız girdiğini düşünmektedir. Oscar'a dönüp, "Şu hale bak! Evin altını üstüne getirmişler," der. Oscar pek aldırış etmez. Ne hırsızı? Felix'e yine gelenler gelmiştir. Yatak odasının kapısını ardına kadar açar. Etrafta saçılmış giysiler; yerlerde boş pizza kutuları; sağa sola atılmış, ezilmiş boş bira kutuları vardır. "İşte odam her zamanki gibi duruyor. Hırsız filan da girmemiş" diye bağırır Oscar. Felix ikna olmaz. "Tabii, her zamanki gibi duruyor –dağınık bir odanın altını üstüne getirseler yine dağınık bir oda olur. Bir de benim odama bak!" Kendi odasını açar. Odaya bakıp "Hah hah! Altı üstüne gelmiş!" diye alay eder Oscar, "Her şey yerli yerinde, düzenli. Daha ne istiyorsun?" Felix dönüp şöyle der: "Düzenli görünebilir, ama bak, hırsızın girdiği nasıl belli. Bir kere vitamin şişelerimin boy sırası bozulmuş. Shakespeare'in eserlerine ne demeli? Alfabetik sıra diye bir şey kalmamış. Ya çorap çekmecem? Şuna bir bak! Siyah çorapların bir kısmı mavi çorapların olduğu bölmede! Hırsız girmiş diyorum sana, besbelli hırsız girmiş!"

Felix'in geçirdiği sinir krizini bir tarafa bırakırsak, verdiğimiz örnek aslında basit ama önemli bir noktayı gözler önüne sermektedir. Oscar'ın odası gibi, eğer bir şey son derece düzensizse bileşenlerinin pek çok olası yeniden dizilişi, o şeyin genel görünümünü değiştirmez. Söz gelimi, yatağın üstünde, yerde, çekmecelerin tepesinde sağa sola saçılmış yirmi altı buruşuk gömleği alıp yine başka yerlere savurun ya da kırk iki bükülmüş boş bira kutusunu tekrar oraya buraya fırlatın, oda yine aynı gözükecektir. Ancak bir şey son derece düzenli ise, aynen Felix'in odası gibi, en küçük bir yeniden diziliş bile kolayca dikkat çekecektir.

İşte bu ayrım, Boltzmann'ın entropiye getirdiği matematiksel tanımın temelini oluşturmaktadır. Herhangi bir sistemi ele alın ve büyük ölçekli genel görünüşünü değiştirmeden içindeki birimlerin kaç farklı biçimde yeniden dizilebileceğini sayın. Bu sayı sistemin entropisidir. Bu tür yeniden dizilişlerin sayısı fazlaysa, entropinin de yüksek olduğunu söyleriz: Demek ki, sistem son derece düzensizdir. Eğer yeniden dizilişlerin sayısı küçükse, entropi de düşüktür: O zaman

da sistem son derece düzenlidir (Ya da başka bir deyişle, düşük düzensizliğe sahiptir).

Daha bilindik örnekler için bir kazan buhar ve bir buz küpü düşünün. Her ikisinin de moleküler yapılarını dikkate almadan ölçebileceğiniz ya da gözlemleyeceğiniz, yalnızca genel büyük ölçekli özelliklerine odaklanın. Elinizi buhara sokup salladığınız zaman, milyar kere milyarlarca H_2O molekülünün konumunu yeniden düzenlemiş olursunuz, ancak buharın her noktada aynı olan sisli yapısında bir değişiklik meydana gelmez. Sonra, buz parçasındaki aynı miktardaki molekülün konumlarını ve hızlarını rastgele bir şekilde değiştirin. Farkı hemen göreceksiniz – buzun kristalleşmiş yapısı bozulacak, üzerinde küçük çatlaklar ve kırılmalar oluşacaktır. Buhar kazanının içinde etrafa uçuşan H_2O molekülleriyle buhar, son derece düzensiz bir yapı göstermektedir. Düzenli, kristalize biçimde konumlanmış H_2O molekülleriyle buz ise son derece düzenli bir yapıya sahiptir. Buharın entropisi yüksek (Birçok yeniden diziliş buharı aynı görünecek şekilde bırakacaktır.), buzun entropisi düşüktür (Az sayıdaki yeniden dizilişler buzu aynı görünecek şekilde bırakacaktır.).

Bir sistemin makroskobik görünümünün sistemin mikroskobik ayrıntılarına duyarlılığını belirleyen entropi, toplam fiziksel özelliklere odaklanan matematiksel bir formalizm için doğal bir kavramdır. Termodinamiğin İkinci Yasası da bu tür bir bakış açısını nicel hale getirerek geliştirmiştir. Yasaya göre, zamanla bir sistemin toplam entropisi artacaktır.[2] Bunun nedenini anlamak için en temel olasılık ve istatistik bilgilerinin anlaşılması yeterli olur. Tanım gereği, yüksek entropili bir konfigürasyonun düşük entropili bir konfigürasyona oranla çok daha fazla sayıdaki mikroskobik diziliş vasıtayla gerçekleşmesi mümkündür. Sistem evrildikçe, daha yüksek entropi durumlarına geçilmesi beklenir çünkü en basitinden, böyle bir duruma karşılık gelen çok sayıda diziliş söz konusudur. Hem de *pek çok*. Ekmek pişerken, evin her tarafına mis gibi bir koku yayılır çünkü ekmekten çıkan moleküllerin mutfağın bir köşesinde yoğun durumda bulunduğu dizilişlere kıyasla, bu moleküllerin yayıldığı dizilişler trilyon-

larca kez daha fazladır ve her yere aynı güzel koku ulaşmış olur. Sıcak moleküllerin rastgele hareketleri, neredeyse kesin bir şekilde, onları bir yerde kümelendikleri az sayıdaki konfigürasyona doğru değil, çok sayıdaki her yere yayılmış oldukları dizilişlere doğru sevk eder. Böylece, bu moleküller topluluğu düşük entropiden yüksek entropiye evrilirler. Bu da İkinci Yasa'nın iş başında olduğu anlamına gelir.

Bu genel bir fikirdir. Camın parçalanması, mumun yanması, mürekkebin dökülmesi, parfüm kokusunun yayılması: hepsi farklı süreçlerdir ama istatistiksel açıdan ele alınışları aynıdır. Her birinde, düzenden düzensizliğe geçiş vardır çünkü düzensiz olmanın pek fazla yolu vardır. Bu tür bir analizin güzelliği – ki bu kavrayış fizik eğitimimde en güçlü "Hah, anladım!" anlarından birini sağlamıştır– mikroskobik ayrıntılarda boğulmadan pek çok sürecin neden o biçimde gerçekleştiğini açıklayabilmek için bize ışık tutan bir ilkemiz olmasıdır.

Şuna dikkatinizi çekmek isterim ki istatistiksel bir yasa olarak İkinci Yasa, entropi *azalmaz* gibi bir şey söylemez, sadece entropide azalmanın aşırı derecede düşük olasılığı olan bir durum olduğunu belirtir. Kahvenizin içine koyduğunuz sütün molekülleri, rastgele hareketleri sonucu, kahvenin üzerinde bir Noel Baba şekli oluşturabilir. Ama çok heveslenmeyin. Yüzen bir Noel Baba'nın entropisi çok düşüktür. Eğer onun birkaç milyar molekülünü karıştırırsanız, kafasını veya elini kaybedeceğini ya da yayılıp yok olacağını göreceksiniz. Buna kıyasla, kahvenin içinde eşit biçimde tamamen dağılmış süt moleküllerine karşılık gelen bir konfigürasyon çok daha yüksek entropiye sahiptir: çok sayıdaki yeniden diziliş sıradan sütlü kahveye benzemeye devam edecektir. O halde, çok büyük bir olasılıkla, koyu kahvenize koyduğunuz süt, kahvenizin her yerde aynı bir açık renk almasını sağlayacaktır ve görünürlerde bir Noel Baba olmayacaktır. Bunun gibi, düşük entropiden yüksek entropiye doğru değişimi izleyebileceğimiz çok sayıda örnekle İkinci Yasa bize hiçbir zaman çiğnenemez gibi gözükmektedir.

İkinci Yasa ve Kara Delikler

Şimdi gelelim Wheeler'ın kara delikler hakkında söylediklerine. 1970'lerde Wheeler şunu fark etti: Konu kara delikler olduğu zaman, İkinci Yasa'nın söyledikleri geçerliğini yitiriyordu. Civardaki bir kara delik toplam entropiyi azaltmanın hazır ve inanılır bir yolunu sunuyordu. Baktığınız örnek sistem her ne ise – kırılmış cam, yanmış mum, dökülmüş mürekkep – kara deliğin içine atın. Hiçbir şey kara delikten kaçamayacağı için sistemin düzensizliği de tamamen yok olmuş gözükecektir. Bir kara delikle çalıştığınız zaman toplam entropiyi azaltmak kolay işmiş gibi görünmekteydi. Birçoklarının düşüncesine göre İkinci Yasa da böylece ihlal edilmiş oluyordu.

Wheeler'ın öğrencisi Bekenstein ikna olmamıştı. Bekenstein, entropinin kara delikte yitirilmediğini ama aktarıldığını ileri sürdü. Hiç kimse kara deliklerin yıldızlar ve uzay tozlarıyla tıka basa dolarken, enerjinin korunumuyla ilgili Termodinamiğin Birinci Yasasını ihlal etmeyi mümkün kılan bir mekanizma sağladıklarının iddia etmemişti. Einstein'ın denklemleri de kara deliğe bir şey düştüğünde, kara deliğin büyüdüğünü ve ağırlaştığını gösterir. Bir bölgede bulunan enerji yeniden dağılabilir; bir kısmı kara deliğin içine düşerken, bir kısmı dışarıda kalabilir ama toplam enerji korunur. Bekenstein, aynı durumun belki entropi için de geçerli olabileceği önerisinde bulundu. Entropinin bir bölümü kara deliğin dışında kalırken, bir kısmı içerisine düşer, ancak entropinin hiçbir kısmı yok olmuyor olabilir.

Bu tahmin akla yatkın görünüyordu ama uzmanlar Bekenstein'ın söylediklerini reddettiler. Schwarzschild'in çözümü ve devamındaki uzun çalışmalar, kara deliklerin tamamen bir düzenlilik simgesi olduğunu öne sürüyor gibiydi. İçine düşen madde ya da ışınım ne kadar büyük ve ne kadar düzensiz bir yapıda olursa olsun, kara deliğin merkezinde sonsuz küçüklükte bir boyuta sıkıştırılıyordu: Kara delik tam anlamıyla düzenli bir çöp sıkıştırıcısıydı. Tamam, böyle bir sıkıştırmada tam olarak neler olduğunu kimse bilmiyordu çünkü çok yüksek eğrilik ve yoğunluk vardı, bu da Einstein'ın denklemlerini alt-üst edi-

yordu ama ne olursa olsun, kara deliğin merkezinde düzensizliğin devam etmesi söz konusu değildi. Kara deliğin merkezi dışında kalan kısımları ise bir uzay-zaman boşluğundan başka bir şey değildi. Bu boşluk, Şekil 9.1'de görüldüğü gibi, geri dönüşün olmadığı sınıra –yani olay ufkuna– kadar uzanmaktaydı. Oraya buraya sürüklenip duran atomlar ya da moleküller olmadan ve doğal olarak yeniden dizilişinden bahsedilebilecek bileşenler olmadan, kara deliklerin entropisi yok gözüküyordu.



Şekil 9.1 Bir kara delikte geri dönüşün olmadığı bir yüzeyle, yani olay ufkuyla çevrili bir uzay-zaman bölgesi bulunur.

1970'lerde, bu görüş, adına *saçsızlık teoremleri* denilen teoremlerle desteklendi ve kara deliklerin, tıpkı Blue Man Grubu adıyla bilinen gösteri grubunun dazlak üyeleri gibi, birtakım ayırıcı özelliklerden yoksun bulunduğu matematiksel olarak da ortaya koyuldu. Bu teoremlere göre, aynı kütleye, yüke, açısal momentuma (dönüş hızına) sahip iki kara delik birbirleriyle özdeştiler. Başka ayırt edici özellikleri olmadan –aynı kâkülü veya saç örgüsü olmayan Blue Man Grubu gibi– kara delikler entropi barındıracak farklılıklara sahip değiller gibi görünüyordu.

Bu açıklama kendi başına oldukça ikna edici görünüyordu, ancak Bekenstein'ın görüşünü kesin bir şekilde sarsacak gibi gö-

rünen bir başka konu daha vardı. Temel termodinamiğe göre, entropiyle sıcaklık arasında sıkı bir ilişki vardır. Sıcaklık, bir cismin bileşenlerinin ortalama hareketinin bir ölçüsüdür: Sıcak cisimlerin bileşenleri hızlı hareket ederken, soğuk cisimlerin bileşenleri yavaş hareket ederler. Entropi, bu bileşenlerin, makroskobik bakış açısıyla fark edilmeyen tüm olası yeniden dizilişlerinin bir ölçüsüdür. Demek ki hem entropi hem de sıcaklık bir cismin bileşenlerinin toplu özelliklerine bağlıdır; birbirlerinden bağımsız olamazlar. Matematiksel olarak hesaplandığında, Bekenstein haklı olsa ve kara deliklerin entropisi olsa, kara deliklerin sıcaklıklarının da olması gerektiği açıklığa kavuştu.[3] *Bu* görüş alarm zillerini de çalmış oldu. Sıfırın dışında bir sıcaklık derecesine sahip herhangi bir cisim ışımada bulunur. Kor halindeki kömürün yaydığı ışık gözle görülebilirken, biz insanların ışınımı kızılötesindedir. Eğer bir kara deliğin sıfır derece olmayan bir sıcaklığı varsa, Bekenstein'ın geçerli olduğunu iddia etiği termodinamik yasalarına göre, kara deliklerin de ışıması gerekirdi. Ancak bu, kara deliğin kütleçekimi gücünden hiçbir şeyin kurtulamayacağı gerçeğine açıkça aykırı düşmekteydi. Bu nedenle, neredeyse herkes Bekenstein'ın söylediklerinin geçerli olmadığı sonucuna vardı. Kara deliklerin sıcaklığı yoktu. Kara delikler entropiyi barındırmazdı. Âdeta bir entropi çukuruydular. Kara deliklerin varlığında, Termodinamiğin İkinci Yasası çöküyordu.

Söylediklerine karşıt görüşler artsa da kışkırtıcı bir sonuç Bekenstein'ın tarafındaydı. 1971'de Stephen Hawking kara deliklerin kendine özgü bir yasası olduğunu fark etmişti. Kütleleri ve boyutları farklı bir grup kara delikten bazıları normal, yörüngesel hareketlerini sürdürüyorsa, bazıları yakınlarındaki bütün madde ve ışınımı içine çekiyorsa, bazıları birbirleriyle çarpışıyorsa, *bu kara deliklerin toplam yüzey alanı zaman içinde artar*. "Yüzey alanı" ifadesiyle Hawking'in anlatmak istediği, kara deliğin olay ufkunun alanıydı. Fizikte, niceliklerin zaman içinde sabit kaldığını söyleyen pek çok bulgu vardır (enerjinin korunumu, yükün korunumu, momentumun korunumu vb.), ancak niceliklerin arttığını söyleyen yasalar oldukça azdır. Öyley-

se, Hawking'in sonucu ile İkinci Yasa arasında bir paralellikten söz edilmesi doğaldı. Eğer kara deliğin yüzey alanı, bir şekilde, sahip olduğu entropinin bir ölçüsü ise o zaman toplam yüzey alanındaki artış da toplam entropideki artış anlamına gelebilirdi.

Bu cazip bir paralellikti ama kimse aldırış etmedi. Çoğu kimse, Hawking'in alan teoremiyle İkinci Yasa arasındaki benzerliğin tesadüften başka bir şey olmadığını düşünüyordu. En azından birkaç yıl sonrasına, Hawking'in modern kuramsal fiziğin en etkileyici hesaplamalarından birini tamamlamasına kadar.

Hawking Işınımı

Einstein'ın genel görelilik kuramında kuantum mekaniğinin bir rolü bulunmadığı için Schwarzschild'in kara delik çözümü tamamen klasik fiziğin ilkelerine dayanıyordu. Oysa madde ve ışınımın (radyasyonun) –kütleyi, enerjiyi ve entropiyi bir yerden başka bir yere taşıyan foton, nötrino ve elektron gibi parçacıkların– tam olarak anlaşılabilmesi için kuantum fiziğine ihtiyaç vardır. Kara deliklerin özelliklerini ve madde ve ışınımla nasıl etkileşime girdiklerini tam anlamıyla anlayabilmek için Schwarzschild'in çalışmasına kuantum anlayışı eklenmelidir. Bu da hiç kolay değildir. Sicim kuramındaki gelişmelere (aynı zamanda burada sözünü etmediğimiz ilmek kuantum kütleçekimi, twistor kuramı, topos kuramı) karşın, kuantum fiziğiyle genel göreliliği birleştirecek çalışmaların daha çok başındayız. 1970'lerde, kuantum mekaniğinin kütleçekimini nasıl etkilediğine yönelik çok daha az kuramsal anlayış vardı.

Bununla birlikte, konuya ilk eğilen araştırmacıların bir kısmı kuantum mekaniği ile genel göreliliğin kısmi bir birleşimini geliştirmek için kuantum alanlarının (birleşimin kuantum yanı) sabit ancak eğrilmiş bir uzay-zaman ortamında (birleşimin genel görelilik yanı) değişim geçirmesini dikkate aldılar. IV. Bölüm'de söz ettiğim gibi, tam bir birleşim, en azından, yalnızca uzay-zaman içinde alanların kuantum titremelerini değil, uzay-zamanın kendi titremelerini de dikkate almak zorundadır. İşi karmaşık hale getirmemek için, yapılan ilk çalışmalarda sürekli olarak bu

noktadan uzak durulmuştur. Hawking, bu kısmi birleştirmeyi ele alarak kuantum alanlarının çok özel bir uzay-zaman sahasında –kara deliklerin varlığında oluşan uzay-zamanda- nasıl davranacakları üzerinde çalışmalar yaptı. Elde ettiği sonuçlar fizikçileri koltuklarından zıplatacak nitelikteydi.

Kuantum alanlarının bilindik, boş, eğrilmemiş uzay-zamanda iyi bilinen bir özelliği, titremelerinin bir hiçlikten bir anda ortaya çıkan, kısa süreli var olan, sonra çarpışarak birbirlerinin yok olmasına yol açan parçacık çiftleri (örneğin, bir elektron ve onun anti-parçacığı olan pozitron) oluşumuna yol açmasıdır. *Kuantum çifti üretimi* olarak bilinen bu süreç, gerek kuramsal, gerek deneysel olarak incelenmiş ve tümüyle anlaşılmıştır.

Kuantum çifti üretiminin önemli bir özelliği, çiftin bir parçası pozitif enerjiye sahipken, enerjinin korunumu yasasına göre, diğer parçanın eşit büyüklükte bir *negatif enerjiye* –klasik fiziğin hakim olduğu bir evren içinde anlamsız olan bir kavram– sahip olması gerekmesidir.* Ancak belirsizlik ilkesi bu tuhaf duruma bir pencere açar ve bu ilke negatif enerjili parçacıklara uzun süre var olarak kalmadıkları sürece izin verir. Eğer bir parçacık sadece çok kısa bir süre için var oluyorsa, kuantum belirsizliğine göre, herhangi bir deneyin ilke olarak bile parçacığın enerjisinin işaretini belirlemek için yeterli zamanı yoktur. Bundan dolayı, kuantum yasaları parçacık çiftlerini çabucak yok olmaya mahkûm bırakır. Demek ki kuantum titremeleri, parçacık çiftlerinin tekrar tekrar oluşup yok olmasına yol açar ki bu da kuantum belirsizliğinin aksi takdirde boş olan uzayda sürekli ve derinden gelen önlenemez bir gürültüsü gibidir.

Hawking, bu türden kuantum titremelerini boş bir uzay ortamı bağlamında değil, kara deliğin olay ufkunun yakınında ele aldı. Gördü ki olaylar bazen her zamanki gibi sıradan biçimde gerçekleşiyordu. Parçacık çiftleri gelişigüzel biçimde ortaya çıkıyor, çabucak birbirlerini buluyor, sonra da hemen ortadan kalkıyor-

* III. Bölüm'de kütleçekimi alanının içerdiği enerjinin nasıl negatif olabileceğini açıklamıştık. Ancak, bu enerji potansiyel enerjidir. Burada söz ettiğimiz enerji ise kinetik enerji olup elektronun kütlesi ve hareketinden doğmaktadır. Klasik fiziğe göre bunun pozitif olması gerekir.

lardı. Ancak ara sıra yeni başka bir şey daha oluyordu. Parçacıklar kara deliğin sınırına yeterince yakın bir noktada oluşuyorsa, bunların bir tanesi kara deliğin içine çekilirken, diğeri uzaya doğru ilerliyordu. Eğer ortada bir kara delik yoksa böyle bir durum da asla söz konusu olamaz, çünkü parçacıkların birbirlerini yok etmedikleri durumlarda, negatif enerjili parçacık var olmaya devam ederse kuantum belirsizliğinin belirlediği koruyucu sınırları aşmış olur. Hawking, kara deliğin uzayı ve zamanı ciddi biçimde bükmesiyle, kara deliğin dışındaki birisi tarafından belirlendiğinde negatif enerjiye sahip olacak parçacıkların, kara deliğin içindeki talihsiz bir gözlemci tarafından *pozitif* enerjili gözlenebileceğini fark etti. Böylece, kara delik, negatif enerjili parçacıklara âdeta yaşam hakkı tanıyor, bir kuantum koruması gereği de ortadan kalkıyordu. Dağılan parçacıklar birbirlerini yok etme sürecini yaşamadıkları için kendi yollarına gidiyorlardı.[4]

Pozitif enerjili parçacıklar kara deliğin olay ufkunun tam üzerinden dışarı doğru fırlamaktadır. Bu nedenle, dışarıdan gözlemleyen birisine bu parçacıklar uzaktan ışınım gibi gözükmektedir. Buna bu nedenle *Hawking ışınımı* adı verilmektedir. Negatif enerjili parçacıklar kara deliğin içine düştükleri için doğrudan gözlenememektedirler, ancak fark edilebilir bir etkiye yol açarlar. Bir kara deliğin kütlesi pozitif enerji taşıyan herhangi bir şeyi yuttuğunda nasıl artıyorsa, negatif enerji taşıyan bir şeyi yutması durumunda da azalmaktadır. Bu iki süreç bir arada, kara deliğin yanmakta olan bir kömüre benzemesine yol açmakta, kara delik, kütlesi küçüldükçe dışarıya doğru kesintisiz bir ışınım yaymaktadır.[5] Kuantum mekaniksel değerlendirmeler dahil edildiğinde, kara delikler tam anlamıyla kara değildi. Bu bulgu Hawking için tam anlamıyla bir sürprizdi.

Bundan sıradan bir kara deliğin kor gibi kıpkırmızı olduğu anlamı da çıkmamalıdır. Parçacıklar kara deliğin biraz dışından akarlarken, aynı zamanda kara deliğin güçlü kütleçekimsel çekiminden kurtulmak için de âdeta savaş verirler. Bunu yaparken enerji sarf ederler ve bu nedenle de önemli oranda soğurlar. Hawking'in bulduğu sonuca göre, kara deliği çok uzaklardan gözlemleyen bir

gözlemci, bu "yorgun" ışımanın sıcaklığının kara deliğin kütlesine ters orantılı olduğunu görecektir. Gökadamızın merkezindeki gibi büyük bir kara deliğin sıcaklığı, mutlak sıfırdan sadece derecenin trilyonda birinden daha fazladır. Güneş büyüklüğündeki bir kara deliğin sıcaklığı, derecenin milyonda birinden az bir sıcaklıktadır. Bu da, büyük patlamadan bize kalan 2,7 derecedeki kozmik fon ışınımı ile kıyaslandığında bile çok küçük bir değerdir. Bir kara deliğin sıcaklığının, örneğin mangalda yemek hazırlamak için gereken sıcaklığa ulaşabilmesi için kütlesinin yaklaşık Dünya'nın on binde biri kadar olması gerekir ki bu da astrofizik standartlara göre olağanüstü küçük bir değerdir.

Ancak kara deliğin sıcaklığının büyüklüğü ikinci planda kalabilecek bir konudur. Uzak astrofiziksel kara deliklerden gelen ışınım gece göğünü aydınlatmasa da bir kara deliğin sıcaklığından ve ışınımından söz ediyor olmamız göstermektedir ki uzmanlar Bekenstein'ın kara deliklerin entropisi olduğu fikrine karşı çıkmakta biraz acele etmişlerdi. Hawking bu konuyu belli bir sonuca taşıdı. Hawking'in kara deliğin sıcaklığını ve yaydığı ışınımı belirlemek için yaptığı hesaplamalar, kara deliğin termodinamiğin standart yasalarına göre barındırması gereken entropi miktarını belirlemek için gerekli tüm verileri de sağlamıştır. Hawking'in elde ettiği cevap, aynen Bekenstein'ın önerdiği gibi, kara deliğin yüzey alanı ile orantılıdır.

Böylelikle, 1974'ün sonlarına doğru İkinci Yasa tekrar teyit edilmişti. Bekenstein ve Hawking, herhangi bir durumda yalnızca sıradan cisimlerin entropisini ve ışınımını değil, kara deliklerin barındırdığı toplam yüzey alanı ile ölçülen entropiyi de dikkate alırsanız toplam entropinin arttığını göstermişti. Kara delikler, İkinci Yasa'nın çökmesi anlamına gelecek bir entropi batağı olmak yerine, tam tersine, yasanın düzensizliği sürekli artan bir evrene ilişkin ilkelerini güçlendirmede önemli bir rol oynamaktadırlar.

Sonuçlar rahatlatıcı olmuş, pek çok fizikçiye göre kesinliği şüphe götürmez istatistiksel sonuçlara dayanan İkinci Yasa'nın fizikteki önemi daha da artmıştır. Yasanın bir kez daha doğrulanması her şeyin yolunda gittiğini göstermekteydi. Ancak zaman içinde

entropi hesaplarıyla ilgili büyük önem taşıyan küçük bir ayrıntı, İkinci Yasa'nın ifade ettiği toplam entropinin sürekli artması durumunun ortadaki en derin konu olmadığını gösterdi. Bu, *entropinin nerede depolandığının* belirlenmesi konusuydu. Entropiyle bu bölümün temel konusunu oluşturan bilgi arasındaki derin ilişki anlaşıldığında bu konunun taşıdığı önem netleşecektir.

Entropi ve Saklı Bilgi

Şu ana kadar entropiyi genel olarak düzensizliğin bir ölçüsü olarak ve daha nicel olarak da mikroskobik bileşenlerin genel makroskobik özelliklerde değişiklik yaratmayan yeniden dizilişlerinin sayısı olarak tanımladım. Şu ana kadar üstünde durmadıysam da birazdan ele alacağım üzere, entropi kavramını, edindiğiniz verilerle (genel makroskobik özellikler) edinemediğiniz veriler (sistemin belli bir mikroskobik dizilişi) arasında *bilgideki farkın* ölçümü olarak da düşünebilirsiniz. Entropi, eğer erişim sağlayabilirseniz, bir sistemin içindeki mikroskobik ayrıntılarda saklı olan ve bu sistemin mikro düzeydeki konfigürasyonunu makro düzeydeki benzerlerinden ayıran fazladan bilgiyi ölçer.

Bir örnek verelim: Söz gelimi, bizim Oscar odasını topladı ancak geçen hafta oynadığı pokerden kazandığı bin gümüş dolar yerlere saçılmış duruyor. Bu paraları toparlayıp bir yere düzgün bir şekilde koysa bile, Oscar bazıları yazı bazıları tura olacak şekilde gelişigüzel gruplanmış paraları görecektir. Ola ki kendisi yokken bu paralardaki bazı yazıları tura, başka turaları da yazı görünecek biçimde çevirip koysanız, Oscar bu değişikliği fark edemez. Bu da göstermektedir ki para yığınının entropisi yüksektir. İsterseniz bir entropi sayımı da yapabilirsiniz. Yığında sadece iki tane metal para olsaydı, dört konfigürasyon mümkün olurdu: (yazı, yazı); (yazı, tura); (tura, yazı) ve (tura, tura) –birinci metal para için olasılık sayısı iki ve ikinci para için bunun ikiyle çarpımı. Üç metal para olsa, sekiz konfigürasyon mümkün olurdu: (yazı, yazı, yazı); (yazı, yazı, tura); (yazı, tura, yazı); (yazı, tura, tura); (tura, yazı, yazı); (tura, yazı, tura); (tura, tura, yazı); (tura, tura, tura) –birinci para için iki olasılık; çarpı

iki ikinci para için ve tekrar çarpı iki üçüncü para için. Bin tane metal para olsa, toplam konfigürasyon sayısı yine benzer bir düzen izlerdi –her bir metal para için 2 çarpanı– ve bu da 2^{1000} yani, 10715086071862673209484250490600018105614048117055336074437503883703510511249361224931983788156958581275946729175531468251871452856923140435984577574698574803934567774824230985421074605062371141877954182153046474983581941267398767559165543946077062914571196477686542167660429831652624386837205668069376 demektir. Bu yazı tura dizilişlerinin büyük bölümünün öyle ayırıcı bir özelliği yoktur, bu nedenle bunlar herhangi bir şekilde fazla dikkat çekmezler. Eğer 1000 metal paranın hepsinde yalnızca yazı ya da yalnızca tura olmuş olsaydı ya da 999 tanesinde yazı veya 999 tanesinde tura bulunsaydı, *o zaman* bu dizilişler dikkat çekerdi. Ancak bu tür sıra dışı konfigürasyonların sayısı, bütün olasılıkların çok daha yüksek olan toplam sayısıyla kıyaslandığında son derece küçüktür. Bu nedenle de bu konfigürasyonları sayım dışı bırakırsanız fazla bir şey değişmez.*

Yukarıdaki tartışmamıza dayanarak 2^{1000} sayısının paraların entropisi olduğu sonucuna varacaksınız. Bazı açılardan bu sonuç uygun olabilir. Ancak entropiyle bilgi arasındaki sıkı bağlantıyı belirtebilmek için daha önce verdiğim tanımı biraz daha geliştirmem gerekir. Bir sistemin entropisi, bileşenlerinin birbirlerinden ayırt edilemeyen dizilişlerinin sayısına *bağlıdır*. Ancak, bu sayının kendisine eşit değildir. Bu ilişki, *logaritma* adı verilen matematiksel bir işlemle ifade edilir. Sakın lise matematiğinde logaritmayla ilgili kötü anılarınız aklınıza gelmesin. Bizim metal paralar örneğinde bu, yeniden dizilişlerin sayısındaki üslü değeri almanızdır –yani entropi 2^{1000} yerine 1000 olarak tanımlanır.

Logaritma kullanmak çok daha kolay kontrol edilebilir sayılarla çalışmamızı sağlar. Ancak bunun da ötesinde başka bir avantajı vardır. Size 1000 tane metal paranın sadece belirli bir konfigürasyonunu tanımlamak için ne kadar bilgiye ihtiyacınız

* Paraları döndürmek yerine, bu paraların yerlerini de değiştirebilirsiniz. Ancak temel fikri belirtmek için böyle karmaşık bir örneğe girmedim.

var diye sorduğumu farz edin. Buna verilecek en basit cevap bir liste hazırlamaktır –yazı, yazı, tura, yazı, tura, tura...– bu 1000 tane metal paranın her biri için ortaya çıkan olasılıklar listesidir. Tabi ki bunlar beni konfigürasyonun ayrıntıları hakkında bilgilendirir, ama benim sorum bununla ilgili değildir. Ben o listede *ne kadar bilgi* bulunduğunu sordum.

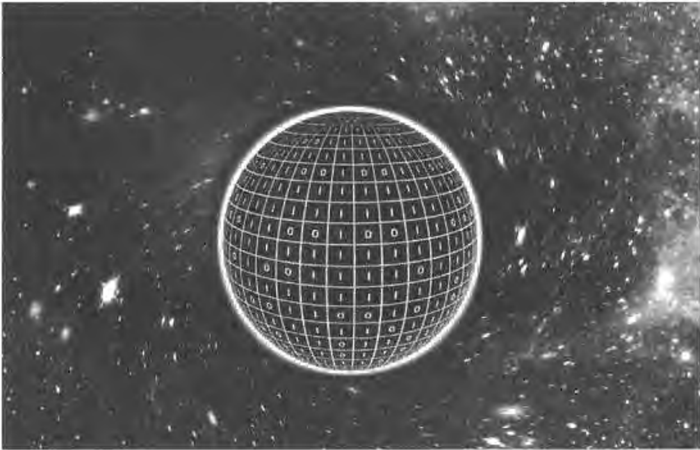
O zaman durup düşünmeye başlarsınız. *Bilgi* derken tam olarak neyi kastediyoruz? Bilgi ne işe yarar? Yanıt basit ve açıktır. Bilgi, soruları yanıtlar. Matematikçilerin, fizikçilerin, bilgisayar bilimcilerinin yıllar süren araştırmaları bunu kesin biçimde ortaya koymuştur. Araştırmalara göre, bilgi içeriğinin en yarar sağlayan ölçüsü, *bilginin yanıtlayabileceği birbirinden farklı evet-hayır sorularının sayısıdır*. Metal paralarla ilgili örnekte, paraların bilgisi böyle 1000 soruya yanıt sağlayabilir: İlk parada yazı mı gelmiştir? Evet. İkinci parada da yazı mı gelmiştir? Evet. Üçüncü parada yazı gelmiş midir? Hayır. Dördüncü parada yazı gelmiş midir? Hayır. Ve saire. Her bir evet-hayır sorusuna yanıt sağlayacak veriye *bit* adı verilir –*binary digit* (ikili rakam) ifadesinin kısaltılmış biçimi olan ve bilgisayar çağında çok bildik bir terim. *Evet* ya da *hayır* yanıtındaki her bir ifadenin 0 ya da 1 ile sayısal olarak temsil edilmesidir. Bu durumda, 1000 ayrı metal paranın yazı tura dizilişi 1000 bit değerinde bilgi anlamına gelir. Şimdi benzer biçimde, Oscar'ın makroskobik bakış açısından sürece baktığınızda ve yazı tura dizilişlerinin mikroskobik ayrıntılarını atlayıp paraların yalnızca genel görünüşlerine odaklandığınızda, paralardaki "saklı" bilgi içeriği 1000 bittir.

Entropi değeriyle saklı bilgi miktarının eşit olduğuna dikkatinizi çekerim. Bu bir tesadüf değildir. Mümkün olan tüm yazı tura dizilişlerinin sayısı, 1000 soruya verilebilecek olası yanıtların –(evet, evet, hayır, hayır, evet, ...) ya da (evet, hayır, evet, evet, hayır, ...) ya da (hayır, evet, hayır, hayır, hayır, ...) gibi– *sayısıdır,* yani 2^{1000}. Entropi, bu dizilişlerin sayısının logaritması –bu örnekte 1000– olarak tanımlanırsa, o halde, entropi bu türden bir cevaplar dizisinin yanıt oluşturduğu evet-hayır sorularının *sayısıdır*.

Örnek olarak 1000 metal paradan yola çıktım, ancak entropi ve bilgi arasındaki ilişki geneldir. Herhangi bir sistemin mikroskobik ayrıntıları genel, makroskobik özelliklere baktığımızda saklı kalan bilgi içerir. Örneğin, bir buhar kazanının sıcaklığını, basıncını ve hacmini biliyorsunuz ama acaba bir H_20 molekülü kazanın üst sağ köşesine çarptı mı? Bir diğeri acaba sol alt kenarın orta noktasına mı çarptı? Tıpkı yerlere saçılmış metal paralarda olduğu gibi, *bir sistemin entropisi, mikroskobik ayrıntılarının yanıtlama kapasitesi olan evet-hayır sorularının sayısıdır, bu durumda entropi sistemin saklı bilgi içeriğinin bir ölçüsüdür.*[6]

Entropi, Saklı Bilgi ve Kara Delikler

Peki, bu entropi kavramı ve bu kavramın saklı bilgiyle olan ilişkisi kara deliklere nasıl uygulanmalıdır? Hawking kara deliğin entropisini yüzey alanıyla ilişkilendiren kuantum mekaniksel savı ayrıntılı olarak irdelerken, yalnızca Bekenstein'ın orijinal görüşüne sayısal bir doğrulama getirmekle kalmadı, aynı zamanda, bunun hesaplanabilmesi için bir algoritma da geliştirdi. Hawking şöyle açıklamıştı: Bir kara deliğin olay ufkunu alın



Şekil 9.2 Stephen Hawking, matematiksel hesaplamalarıyla bir kara deliğin entropisinin, olay ufkunu kaplamaya yetecek miktarda Planck-boyutlu hücrelerin sayısına eşit olduğunu göstermiştir. Sanki her bir kare hücre bir bitlik bilgi, yani bir temel bilgi birimi taşımaktadır.

ve bu alanı kenarları bir Planck uzunluğunda (10^{-33} santimetre) olan kare hücrelerle ızgara gibi bölün. Hawking matematiksel olarak kanıtlamıştır ki kara deliğin entropisi, olay ufkunu kaplamak için gerekli olan bu şekildeki hücrelerin sayısıdır –diğer bir ifadeyle, kara deliğin yüzey alanının Planck kare biriminde (hücre başına 10^{-66} santimetre kare) ölçülmüş değeridir. Saklı bilgi diliyle söylersek, sanki her bir hücre gizlice tek bitlik bir bilgiyi, 0 ya da 1'i, taşımaktadır. Bu da kara deliğin mikroskobik yapısına ilişkin bir evet-hayır sorusunun yanıtıdır.[7] Bu durum Şekil 9.2'de şematik olarak gösterilmektedir.

Einstein'ın genel göreliliği, tıpkı kara delik saçsızlık teoremleri gibi, kuantum mekaniğini göz ardı etmekte, dolayısıyla bu bilgiyi atlamaktadır. Genel göreliliğe göre, bir kara deliğin kütlesinin, yükünün ve açısal momentumunun değerlerini seçerek bu kara deliği tek ve kesin bir şekilde belirlemiş olursunuz. Ancak Bekenstein ve Hawking'in dediklerine bakarsak, bu mümkün değildir. Bekenstein ve Hawking'in çalışmalarına göre, aynı makroskobik özelliklere sahip, ancak mikroskobik özellikleri değişen, çok sayıda farklı kara deliğin olması gerekmektedir. Tıpkı daha sıradan gündelik örneklerde –yere saçılmış metal paralarda, kazandaki buharda– olduğu gibi, kara deliğin entropisi de ince ayrıntılarda saklanan bilgileri yansıtır.

Kara delikler oldukça gizemli olsalar da bu gelişmeler göstermiştir ki konu entropiye gelince, kara delikler de aynı başka sıradan nesneler gibi davranış göstermektedir. Ancak ortaya çıkan sonuçlar aynı zamanda kafa karıştırıcıydı. Bekenstein ve Hawking bir kara delikte ne miktarda bilgi gizlendiğini açıklayabilseler de bu bilginin ne olduğunu belirtmemektedirler. Ne bu bilginin cevapladığı belirli evet-hayır sorularını ne de bu bilginin tanımladığı *düşünülen* mikroskobik bileşenleri belirtmektedirler. Matematiksel çözümlemeler bir kara delikteki bilgi *miktarını* saptayabilmekteydi, ancak bilginin kendisinin ne olduğunu açıklayamamaktaydı.[8]

Tüm bunlar karmaşık konulardı –ve *öyle de kal*maya devam etmektedir. Ancak çok daha temel düzeyde ve kafa karıştırıcı bir

bilinmez daha var. Bilginin miktarı neden kara deliğin yüzey alanı ile belirlenmektedir? Bana ABD Kongre Kütüphanesi'nde ne miktarda bilgi depolandığını sorsanız, önce bu kütüphanenin içinde ne kadar müsait boşluk olduğunu bilmek isterim. Kütüphanenin iç bölümlerinin, raflarının, mikrofilm arşivinin, harita, fotoğraf ve diğer dokümanların depolanma kapasitelerini öğrenmem gerekirdi. Aynı durum, kafamın içinde depoladığım bilgi için de geçerlidir ki bu beynimin hacmine, sinir bağlantıları için müsait olan bölgelere bağlı gözükmektedir. Ve yine aynı durum, bir buhar kazanında o kazanı dolduran parçacıkların özelliklerinde depolanmış bilgi için de geçerlidir. Şaşırtıcı olan şu ki Bekenstein ve Hawking, kara deliklerin bilgi depolama kapasitesini, kara deliğin iç hacmiyle değil, yüzey alanıyla ilişkilendirmişlerdir.

Bu sonuçlar ortaya atılmadan önce, fizikçiler "uzaklık" kavramı için Planck uzunluğunun (10^{-33} santimetre) anlamlı en küçük uzunluk olduğunu kabul ettiklerinden, anlamlı en küçük hacmin de bir kenarı bir Planck uzunluğunda bir küpün hacmi (10^{-99} santimetreküp) olduğunu düşünmekteydiler. Yaygın olarak kabul edilen görüşe göre, gelecekteki teknolojik ilerlemelere bakmaksızın, olası en küçük hacmin depolayabileceği bilgi de en küçük bilgi biriminden –yani bir bitten– daha fazla olamazdı. Dolayısıyla bir uzay bölgesinin bilgi depolama kapasitesi, içerdiği bitlerin sayısı, içine sığabilecek Planck küplerinin sayısına eşit olduğunda en üst düzeye gelmiş olurdu. Dolayısıyla, Hawking'in elde ettiği sonuçta Planck uzunluğunun bulunması şaşırtıcı bir şey değildi. Şaşırtıcı olan, kara deliğin bilgi depolama kapasitesinin, hacmini doldurabilecek Planck-boyutlu küplerin sayısıyla değil de yüzeyini kaplayan Planck-boyutlu karelerin sayısıyla belirlenmesiydi.

İşte bu holografinin –bilgi depolama kapasitesinin bir yüzeyin içindeki hacimle değil, yüzeyin alanıyla belirlendiğinin– ilk işaretiydi. Takip eden otuz yıl içinde konuyla ilgili çeşitli ayrıntılar üzerinde çalışılacak ve bu görüş fizik yasalarına yepyeni bir bakış açısı kazandıracak biçimde gelişecekti.

Kara Delikteki Saklı Bilginin Yerini Bulmak

Şekil 9.2'deki gibi, olay ufkunu kaplayan ve 0'lar ile1'lerin Planck-boyutlu karelerine dağılmış olduğu satranç tahtası, bir kara delikte bulunabilecek bilgi miktarı için Hawking'in bulduğu sonucun sembolik ifadesidir. Ancak bu sembolik görünümü gerçekle nasıl bağdaştırabiliriz? Matematik bir kara delikteki bilgi stokunun yüzey alanıyla ölçüldüğünü söylediğinde, bu sadece sayısal bir hesabı mı yansıtmaktadır yoksa kara deliğin yüzeyinin bilginin gerçekten depolandığı yer olduğu manasına mı gelmektedir?

Bu derin bir meseledir ve bazı tanınmış fizikçiler uzun zamandır bununla ilgili çalışmalar sürdürmektedirler.* Verilebilecek yanıt, kara deliğe dışarıdan mı yoksa içeriden mi baktığınızla çok yakından ilgilidir –dışarıdan bakan bir gözlemci açısından, elimizdeki bilgilere dayanarak, bilginin olay ufkunda depolandığını düşünebiliriz.

Genel göreliliğin kara delikleri nasıl tanımladığını ayrıntılı olarak bilen herhangi biri için, bu pek de kabul edilebilir bir sav olarak gözükmeyebilir. Genel göreliliğe göre, olur da bir kara deliğe olay ufkundan geçip düşerseniz, artık dönüşü olmayan sınırı geçtiğinizi gösterir hiçbir şeyle –ne somut bir yüzeyle, ne işaret levhalarıyla, ne de yanıp sönen ışıklarla– karşılaşmazsınız. Bu, Einstein'ın son derece basit ancak çok önemli kavrayışlarına dayanan bir sonuçtur. Einstein fark etmiştir ki siz (ya da herhangi bir cisim) serbest düşme hareketi kazandığınızda, ağırlığınız tamamen ortadan kalkar; yüksek bir tramplenden atlayın, ayaklarınıza da bir terazi yapıştırılmış olsun, terazideki ölçüm sıfıra düşer. Kendinizi kütleçekimine bırakarak onu tamamen ortadan kaldırmışsınızdır. Buna dayanarak Einstein hemen şöyle bir sonuç çıkartmıştır. Hemen civarınızda deneyimlediklerinize dayanarak büyük bir cisme doğru serbest biçimde düşmekle boş bir uzayın derinliklerinde serbestçe süzülmeyi ayırt etmenizin hiçbir yolu yoktur: Her iki durumda da hiçbir ağırlığınız yoktur. Elbette etrafınıza bakıp Dünya'ya doğru giderek yaklaş-

* Ayrıntılarına ilgi duyanlara Leonard Susskind'ın *The Black Hole Wars* adlı mükemmel kitabını öneririm.

tığınızı fark edince, paraşütümü açmam gerekir, diye düşünebilirsiniz, ama küçük, penceresi olmayan bir kapsülün içindeyseniz, serbest düşme hareketiyle serbest süzülme arasında hissedilebilecek hiçbir fark yoktur.[9]

Yirminci yüzyılın başlarında, Einstein hareket ve kütleçekimi arasındaki bu basit ancak önemli ilişkiyi kavramıştı. On yıllık bir geliştirmeden sonra, bu ilişki genel görelilik kuramına dönüşmüştü. Şimdi buradaki örneklememiz son derece yalın bir örnekleme. Sözünü ettiğimiz o kapsülün içinde olduğunuzu ve yeryüzüne doğru değil, bir kara deliğe doğru serbest biçimde düştüğünüzü düşünün. Aynı mantıkla, deneyimlediğiniz durumu boş uzayda süzülmekten herhangi bir şekilde farklı kılacak hiçbir yol yoktur. Bundan anlaşılan, kara deliğin ufkundan geçerken de farklı bir durum söz konusu olmayacak. En sonunda kara deliğin merkezine çarpınca, artık serbest düşme hareketiniz kalmayacak ve çok daha farklı bir şey yaşayacaksınız. Hem de çok farklı. Ancak o noktaya kadar hep uzayın karanlık derinliklerinde öylesine süzülüp durur gibi olacaksınız.

Bu açıklama, kara deliğin entropisini daha da gizemli bir hale getirmektedir. Kara deliğin olay ufkundan geçince, orada hiçbir şeyle karşılaşmıyorsunuz, yani olay ufkunu uzayın herhangi boş bir bölgesinden ayırt edecek bir şey yok. Peki, o halde burada bilgi nasıl depolanacak?

Bu soruya son on yıl içinde sağlanan ve destek bulan bir yanıt, önceki bölümlerde ele aldığımız ikilik kavramını çağrıştırmaktadır. Hatırlayacağınız gibi, ikilik kavramı, birbirlerinden tamamen farklı ancak birbirlerini tamamlayan ve ortak bir fizik temeline dayanan bakış açılarının olduğu durumları anlatmak için kullanılmaktadır. Şekil 5.2'deki Albert-Marilyn resmi bu durum için güzel bir görsel metafor oluşturmaktadır. Matematiksel örnekler ise sicim kuramındaki ekstra boyutların ayna biçimlerinden (IV. Bölüm) ya da birbirlerinden ince bir farkla ayrılan ikili sicim kuramlarından (V. Bölüm) verilebilir. Birbirilerinden çok farklı ama birbirlerini tamamlayan bakış açıları değerlendirildiğinde önemli sonuçlara ulaşılabilmektedir. Son zamanlar-

da, Susskind'in kılavuzluk ettiği araştırmacılar kara deliklerde de benzer bir noktanın farkına varmışlardır.

Bu bakış açılarından bir tanesi, kara deliğe doğru serbest biçimde düşerken sizin kendi bakış açınızdır. Diğeri ise sizi güçlü bir teleskopla izleyen uzaktaki gözlemcinin bakış açısıdır. Siz sakin biçimde kara deliğin olay ufkunu geçerken, uzaktaki gözlemci çok farklı bir olaylar dizisi izler. Farklılık, Hawking ışınımından ileri gelmektedir.* Uzaktaki gözlemci Hawking ışınımının sıcaklığını ölçünce çok küçük bir değer saptayacaktır; söz gelimi, 10^{-13} K. Bu değer, söz konusu kara deliğin yaklaşık olarak bizim gökadamızın merkezindeki kara deliğin büyüklüğünde olduğunu gösterir. Uzaktaki gözlemci, kara delik ışınımının soğuk olduğunu bilir çünkü olay ufkunun dışından kendisine doğru ulaşan fotonlar kara deliğin kütleçekimsel çekimine karşı koymak için enerjilerini harcamışlar ve daha önce bahsettiğim gibi yorulmuşlardır. Gözlemciye göre, siz kara deliğin olay ufkuna yaklaştıkça yolculuklarına daha yeni başlamış, dolayısıyla daha enerjik ve daha sıcak fotonlarla karşılaşacaksınızdır. Gözlemci, olay ufkuna çok çok yakın olduğunuz bir noktada vücudunuzun yoğun bir Hawking ışınımı bombardımanına maruz kalacağını, en sonunda ise sizden geriye yanmış artıklarınızdan başka bir şey kalmayacağını görecektir.

Neyse ki sizin yaşadıklarınız böylesi kötü olmayacaktır. Siz bu sıcak ışınımı ne görür ne de herhangi bir etkisini hissedersiniz. Serbest düşme hareketiniz kütleçekiminin etkisini ortadan kaldırdığı için,[10] siz sanki boş uzayda yüzüyormuş gibi hissedeceksinizdir. Kesinlikle bildiğimiz bir şey varsa, o da uzayda bu biçimde "yüzerken" aniden alev almayacağınızdır. Sizin açınızdan olaya bakıldığında, olay ufkunu sakin sakin geçer ve (maalesef) kara deliğin merkezine doğru yol alırsınız. Uzaktaki gözlemci açısından bakıldığında ise olay ufkunu çeviren kavurucu ateş içinde yok olursunuz.

* Kara delikler konusunda bilgisi olan okur, Hawking ışınımına yol açan kuantum süreçleri olmasa bile, iki bakış açısının zamanın akış hızı dikkate alındığında yine de farklı olacağını fark edecektir. Ancak Hawking ışınımı her iki bakış açısının arasındaki farkı çok daha belirgin hale getirmektedir.

Peki, gerçek olan hangi algıdır? Susskind ve arkadaşlarına göre, her iki algı da gerçektir. Bunu geleneksel mantıkla açıklayabilmek zordur –yani ya canlısınızdır *ya da* canlı değilsinizdir diyen mantıkla. Ne var ki sözünü ettiğimiz olgu, sıradan bir olgu değildir. Bu birbirlerinden son derece farklı iki bakış açısı hiçbir zaman birbirleriyle çakışmazlar. Kara delikten çıkıp uzaktaki gözlemciye hâlâ yaşadığınızı ispat edemezsiniz. Uzaktaki gözlemci de kara deliğin içine atlayıverip aslında yaşamadığınızı size kanıtlayamaz. Uzaktaki gözlemci kara deliğin Hawking ışınımı ile kavrulduğunuzu görüyor derken, aslında açıklamayı oldukça basite indirgiyorum. Uzaktaki gözlemci, kendisine ulaşan yorgun radyasyonu dikkatlice inceleyerek, başınıza geldiğini düşündüğü bu kötü sonun parçalarını birleştirip durumu anlayabilir. Ancak bu bilginin kendisine ulaşması epeyce zaman alır. Matematiğe göre, gözlemci sizin yanıp kavrulduğunuz sonucuna vardığı andan sonra, gözlemcinin kara deliğin içine atlayıp sizi yakalamak için yeterli zamanı kalmamıştır çünkü gözlemci bunları yapana kadar siz çoktan kara deliğin merkezindeki tekilliğe düşüp yok olmuş olursunuz. Bakış açıları değişebilir, ama fizik paradokslara karşı bir tür korunma altındadır.

Peki, böyle bir durumda bilgi söz konusu olduğunda ne olur? Sizin bakış açınızdan, vücudunuzda, beyninizde ve bilgisayarınızda depolanmış bütün bilgiler sizinle birlikte kara deliğin olay ufkundan geçer. Uzaktaki gözlemcinin gözüyle, taşıdığınız bütün bilgiler, olay ufkunun hemen üzerindeki ışınım tabakası tarafından emilir. Vücudunuzda, beyninizde ve bilgisayarınızda depolanmış bilgi bitleri korunur, ancak sıcak olay ufkuyla birleşip karıştıklarında hepsi karmakarışık hale gelir. Bu nedenle, uzaktaki gözlemci, olay ufkunun *gerçek bir yer* olduğunu ve üzerinde, Şekil 9.2'deki satranç tahtasıyla sembolik olarak gösterildiği gibi, bilgiye fiziksel görünüm kazandıran gerçek biçimler barındırdığını zanneder.

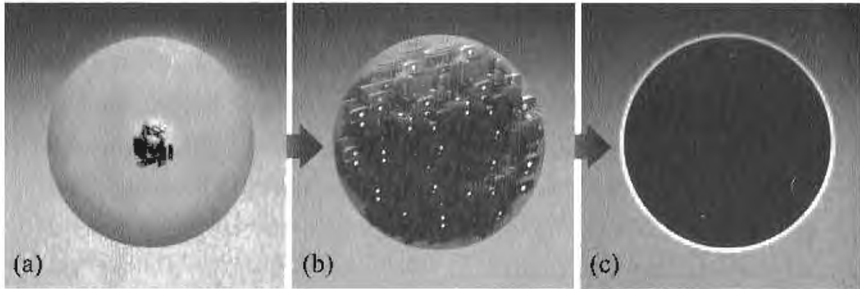
O halde durum şudur: Uzaktaki gözlemci –yani biz– kara delik entropisinin kara deliğin olay ufkunun alanıyla belirlendiği sonucuna varırız çünkü ufuk, entropinin depolandığı yerdir.

Böyle söylendiğinde bu son derece mantıklı gelir. Ancak depolama kapasitesinin kara deliğin hacmiyle belirlenmemesinin garipliğini de unutmayın. Göreceğimiz gibi, bu sonuç sadece kara deliklerin tuhaf bir özelliğine dair bir vurgulama değildir. Kara delikler bize sadece kara deliklerin bilgiyi nasıl depoladığı konusunda ipucu vermezler. Kara delikler bizi bilginin herhangi bir bağlamda depolanması ile ilgili bilgilendirirler. Bu da holografik bakış açısına bir açılım sağlamaktadır.

Kara Deliklerin Ötesinde

Uzayın bir bölgesinde konumlanmış herhangi bir cisim ya da cisimler kümesi –Kongre Kütüphanesi'ndeki tüm kitaplar, Google'a ait bütün bilgisayarlar, CIA arşivleri– düşünün. Kolaylık olması açısından, Şekil 9.3a'da olduğu gibi, bölgeyi hayali bir küre ile çevrelediğimizi farz edin. Kapladıkları hacme oranla, cisimlerin toplam kütlelerinin oldukça küçük olduğunu da düşünelim. Bu nedenle de bir kara delik oluşturamamaktalar. Böyle bir durumda şu önemli soru sorulabilir: Uzayın bu belli bölgesinde depolanabilecek azami bilgi miktarı ne kadardır?

Yanıtı, beklenmedik bir şekilde birliktelikleri sağlanmış olan İkinci Yasa ve kara delikler verir. Bilgi depolama kapasitesini arttırmak için bölgeye madde ilave ettiğinizi düşünün. Google'ın bilgisayarlarına yüksek kapasiteli bellek çipleri ya da geniş hacimli sabit disk sürücüleri takabilir; Kongre Kütüphanesi'nde-



Şekil 9.3 (a) Uzayın belli bir bölgesinde konumlanmış ve bilgi depolanmış çeşitli cisimler. **(b)** Bölgenin bilgi depolama kapasitesini artırıyoruz. **(c)** Madde miktarı belli bir eşiği geçince (değeri genel görelilikle hesaplanabilir)[11] bölge bir kara deliğe dönüşür.

ki kitap koleksiyonuna ilave kitaplar ya da çok sayıda Kindle ekleyerek kapasitelerini arttırabilirsiniz. Hammaddenin bile bilgi taşıdığını düşünürsek (Buharın molekülleri orada mı burada mı? Şu hızda mı bu hızda mı hareket ediyorlar?) uzay bölgesinin köşe bucak her yerine elinize geçen her türlü maddeyi de tıkıştırabilirsiniz. En azından kritik bir noktaya gelinceye kadar. Bu kritik noktada bölge öylesine dolmuş olur ki bir kum taneciği bile eklemeye kalksanız, içerisi kararmaya başlar ve bölge bir kara deliğe dönüşür. Bu olunca da oyun biter. Bir kara deliğin büyüklüğü kütlesiyle belirlenir. Bu nedenle, daha fazla madde ekleyip bilgi depolama kapasitesini arttırmaya çalışırsanız, kara delik de büyümeye başlayacaktır. Ancak biz özellikle belli *sabit* bir uzay hacmindeki bilgiye odaklandığımız için bu sonuç şu anda temel amacın dışına düşmektedir. Bir kara deliğin genişlemesini sağlamadan bilgi kapasitesini arttıramazsınız.[12]

Bu noktada iki gözlem var ki bunlar bizi bitiş çizgisine ulaştırır. İkinci Yasa'ya göre, tüm süreç boyunca entropi artmaktadır. Bu nedenle, sizin bölgeye doldurduğunuz sabit disklerin, Kindle'ların, bütün basılı kitapların, her türlü şeyin içindeki tüm bilgiler bu kara delikteki saklı bilgiden daha az olacaktır. Bekenstein ve Hawking'in sonuçlarından biliyoruz ki bir kara deliğin saklı bilgi içeriği onun olay ufkunun alanıyla ölçülmektedir. Dahası, orijinal bölgeyi taşırmamakta dikkatli davrandığınız için kara deliğin olay ufku bu bölgenin sınırlarına denk gelmektedir. Bu nedenle, kara deliğin entropisi kendisini çevreleyen bu bölgenin alanına eşittir. Buradan çıkartılması gereken ders şudur: *Uzayın belli bir bölgesinde bulunan, herhangi bir tasarıma sahip herhangi bir cisimde depolanan bilgi miktarı, daima bu bölgeyi çevreleyen yüzeyin alanından (Planck kare biriminde ölçülür) daha azdır.*

Peşinde olduğumuz sonuç da budur. Her ne kadar muhakememizde kara deliklerin merkezi bir rolü olsa da bu sonuç, kara delik olsun ya da olmasın uzayın *herhangi* bir bölgesi için geçerlidir. Bir uzay bölgesinin bilgi depolama kapasitesini maksimuma çıkartırsanız, bir kara deliğin oluşmasına yol açacaksınız demektir. Ancak sınırın altında kaldığınız sürece bir kara delik oluşmayacaktır.

Hemen belirteyim ki bilgi depolama sınırı öyle zannettiğiniz kadar düşük değildir. Günümüzdeki bilgi depolama cihazlarının kapasiteleriyle kıyaslandığında, bir uzay bölgesinin yüzey alanının depolama kapasitesi muazzam büyüklüktedir. Örneğin, standart ölçülerde beş tane terabaytlık sabit disk 50 santimetre yarıçapındaki bir kürenin içine rahatça sığar ve bu kürenin yüzeyi 10^{70} Planck-boyutlu hücre ile kaplanabilir. Bu demektir ki yüzeyin bilgi depolama kapasitesi 10^{70} bittir. Bu da milyar kere trilyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon terabayt eder ki alabileceğiniz herhangi bir depolama ünitesinin kapasitesini olağanüstü ölçüde aşar. Silikon Vadisi'ndeki hiç kimse zaten böyle kuramsal sınırlandırmaları aklının ucundan geçirmez.

Ancak depolama sınırları bize evrenin nasıl işlediği konusunda bilgi vermektedir. Örneğin, şu an benim yazı yazmakta olduğum ya da sizin bu kitabı okuduğunuz oda gibi bir uzay bölgesi düşünün. Wheeler'ın bakış açısından yaklaşıp bu alanda gerçekleşen her türlü şeyin bilgi işlemlemeyle –herhangi bir şeyin şu anda nasıl olduğu bilgisinin, fizik yasalarına bağlı olarak, bu şeyin bir saniye, bir dakika ya da bir saat sonra nasıl olacağı bilgisine dönüşmesiyle– ilgili olduğunu düşünün. Gerek gözlemlediğimiz gerek bizi yöneten fiziksel süreçler bu bölgenin içinde yer aldığından, bu süreçlerin taşıdığı bilginin de yine bu bölge içerisinde yer alması beklenir. Ne var ki yukarıda elde edilen sonuçlar farklı bir bakış açısının mümkün *olduğunu* göstermektedir. Kara deliklerle ilgili olarak, bilgi ve yüzey alanı arasındaki ilişkinin sayısal bir hesabın çok ötesine geçtiğini, bilginin kara deliğin yüzeyinde depolanmasının somut bir anlamı olduğunu gördük. Susskind ve 't Hooft bu durumun genelleştirilebileceğini vurgulamışlardır: Uzayın *herhangi* bir bölgesindeki fiziksel olguları tanımlamak için gereken bilgi, tamamen bu bölgeyi çevreleyen yüzey üzerindeki verilerle kodlanabileceği için, bu yüzeyin temel fiziksel süreçlerin gerçekte cereyan ettiği yer olduğunu düşünmemiz için sebebimiz vardır. Bu cesur düşünürlere göre, bildiğimiz üç boyutlu gerçeklik, uzaktaki iki boyutlu fiziksel süreçlerin holografik yansımaları olarak düşünülebilir.

Bu biçimde bir düşünce doğruysa, o zaman uzakta bir yüzeyde, tıpkı bir kuklacının kuklanın iplerini çekmesi gibi, bu satırları yazdığım masamda parmaklarımdaki, kollarımdaki, beynimdeki süreçlerle bütünüyle bağlantılı birtakım fiziksel süreçler gerçekleşmektedir. Buradaki deneyimlerimiz ve oralardaki uzak gerçeklik paralel dünyaların en iç içe girmiş örneğini sergilemektedir. Bu iki yerdeki olgular –bunları *Holografik Paralel Evrenler* olarak adlandırıyorum– öylesine bütünüyle bağlantı içindedir ki herhangi birinde olan bir şey, benimle gölgem arasında olduğu gibi, diğerinde yansıma bulur.

Satır Aralarındaki Önemli Noktalar

Bildiğimiz gerçekliğin çok uzak ve daha az boyutlu bir yüzeyde gerçekleşen olguların bir yansıması olabilmesi, hatta belki de o olgular tarafından üretilebilmesi kuramsal fiziğin en beklenmedik gelişmelerinden biri olmuştur. Ancak, holografik ilkenin doğruluğundan ne kadar emin olabiliriz? Kuramsal bir arazinin derinliklerinde dolaşıyoruz, neredeyse sırf deneysel olarak test edilmemiş bazı görüşlere dayanıyoruz. Bu nedenle de büyük ölçüde şüphe götürür bir durum ortaya çıkıyor. Pek çok noktada sorgulanmayı gerektiren bir durum. Kara delikler gerçekten sıfır olmayan bir değerde entropiye ve sıcaklığa sahip midir? Eğer öyleyse, bu değerler kuramsal öngörülerle bağdaşmakta mıdır? Uzayda bir bölgenin bilgi kapasitesi gerçekten onu saran yüzeyde depolanabilen bilgi miktarına göre mi belirlenir? Böylesi bir yüzeyde, her Planck alanı için bir bit gerçekten sınır mıdır? Öyle sanıyoruz ki tüm bu sorulara verilecek yanıt "evet"tir çünkü elde edilen bulgular bağlantılı, tutarlı ve dikkatli biçimde yapılandırılmış bir kuramsal çerçeveye mükemmel biçimde oturmaktadır. Ancak ortaya atılan fikirlerin hiçbiri bir deneyci tarafından doğrulanmadığı için gelecekteki gelişmelerle bu belirtilenlerden bazılarının geçerli olmadığı ispat edilebilir (ki benim görüşüme göre böyle bir şey çok düşük olasılıkta). O zaman holografik görüşü bir kenara atmamız gerekir.

Bir başka önemli nokta şudur: Sürekli olarak bir uzay bölgesinden, bu bölgeyi çevreleyen bir yüzeyden ve her birindeki bilgi

içeriğinden söz ettik. Ancak odaklandığımız konu entropi ve İkinci Yasa olduğu için –her ikisi de belli bir bağlamdaki bilginin *miktarıyla* ilgilenmektedir– bu bilginin fiziksel olarak *nasıl* meydana geldiğinden ve *nasıl* depolandığından söz etmedik. Uzaydaki belli bir bölgeyi çevreleyen küresel yüzeyde yer alan bilgiden söz ederken tam olarak ne demek istiyoruz? Bu bilgi kendini nasıl gösteriyor? Nasıl bir biçim arz ediyor? Bir bölgenin sınırında gerçekleşen olgulardan, içinde gerçekleşen olgulara tercüme yapmamızı sağlayacak açık ve kesin bir sözlüğü ne ölçüde geliştirebiliriz?

Fizikçiler bu soruları yanıtlayacak genel bir çerçeve henüz oluşturamadılar. Kütleçekimi ve kuantum mekaniğinin her ikisi de muhakememizde son derece önemli olduğundan, sicim kuramının kuramsal araştırmalara bir zemin oluşturmasını bekleyebilirsiniz. Ancak 't Hooft holografik kavramını ilk ortaya attığı zaman, sicim kuramının konuya katkı sağlayabileceğini sanmadığını şöyle ifade etmişti: "Planck ölçeğinde doğa, sicim kuramcılarının bile aklına gelemeyecek kadar karmaşıktır."[13] On yıldan daha kısa bir süre içinde, sicim kuramı, öne sürdüğü doğrularla 't Hooft'un haklı olduğunu ortaya koyarak onu haksız kıldı. Dönüm noktası niteliğinde bir makalede, genç bir kuramcı sicim kuramının holografik ilkeye nasıl net bir açıklama getirdiğini gösterdi.

Sicim Kuramı ve Holografi

1998'de, her yıl yapılan uluslararası sicim kuramı konferansında konuşmamı yapmak üzere Santa Barbara, Kaliforniya Üniversitesi'nde sahneye davet edildiğimde daha önce hiç yapmadığım ve sanırım bir daha da hiç yapmayacağım bir şeyi yaptım. Yüzüm izleyicilere dönük bir biçimde önce sağ elimi sol omzuma, sonra da sol elimi sağ omzuma koyup, daha sonra ellerimi pantolonumun arka cepleri üzerine yerleştirip, çömelerek tavşan gibi yerimde bir zıplayarak çeyrek bir dönüş yaptıktan sonra, izleyicilerin kahkahaları arasında, konuşmaya başlayacağım platforma doğru uzanan basamakları çıktım. İzleyiciler şakayı anlamışlardı. Bir gece önceki konferans yemeğinde katılımcılar dans edip şarkı söyleyerek –ancak fizikçilerin yapacağı türden– Ar-

jantinli sicim kuramcısı Juan Maldacena'nın o etkileyici sonucunu kutluyorlardı. Şarkının sözleri galiba şöyleydi: "Kara delikler bir bilinmezdi / Şimdi D-entropisini hesaplarken D-zarları kullanıyoruz". Kalabalık, 1990'lardaki dans çılgınlığı Macarena'nın –belki Al Gore'un Demokratik Ulusal Kurultay'daki halinden biraz daha hareketli, belki efsane Los del Rio'nun şarkısının orijinal halinden daha az akıcı, ama kesinlikle daha az tutkulu olmayan– sicim kuramı versiyonu ile kutlama yaparken âdeta kendinden geçmişti. Konferansta Maldacena'nın çığır açan sonucuyla ilgili konuşmayan birkaç konuşmacıdan biriydim. Bu yüzden, ertesi sabah konuşmamı yapmaya başlamadan bu şekilde takdirlerimi sunmanın uygun olacağını düşünmüştüm.

Şimdi, on yılı aşkın bir zaman sonra bile pek çok kimse sicim kuramındaki hiçbir çalışmanın bununla kıyaslanır ölçüde mükemmel ve etkili olmadığı konusunda hemfikirdir. Maldacena'nın sonuçlarından yola çıkılarak geliştirilen sayısız görüşler içinde bir tanesi bizim savunduğumuz çizgiyle doğrudan ilgilidir. Belli bir varsayımsal çerçevede, Maldacena'nın sonucu *holografik ilkeyi açık bir şekilde gerçekleştirmekte ve böyle yaparak Holografik Paralel Evrenlerin ilk matematiksel örneğini sunmaktaydı.* Maldacena bunu biçimi bizimkinden farklı, ancak amaç doğrultusunda incelenmesi daha kolay bir evrende sicim kuramını ele alarak başarmıştı. Matematiksel anlamda, bu evren biçiminin bir sınırı, yani içindeki kısmı tamamıyla *çevreleyen* ve ötesine geçilemeyen bir yüzeyi vardı. Bu yüzeye odaklanan Maldacena, bu evrende gerçekleşen her şeyin sınırda etkili olan yasaların ve süreçlerin yansıması olduğunu söylüyordu.

Maldacena'nın evren biçimi her ne kadar kendi evrenimize benzemese de ortaya koyduğu sonuçlar son derece kesin sonuçlardı çünkü holografik evrenlerle ilgili fikirlerin açıklığa kavuştuğu ve nicel olarak hesaplanabileceği matematiksel bir ispat zemini oluşturmuştu. Bu çalışmaların sonuçları, daha önceleri holografik ilkeye burun kıvıran çok sayıda fizikçi arasında büyük bir yankı uyandırdığı gibi, binlerce makaleyle konuya daha da derinlik getiren bir araştırma furyasının da önünü açmış oldu.

Hepsinden daha heyecan verici olan şu ki artık bu kuramsal görüşlerle evrenimizin fiziği arasında bağlantılar *kurabileceğini gösterir* kanıtlara sahibiz. Önümüzdeki birkaç yıl içinde bu bağlantı, holografik evrenle ilgili görüşlerin test edilebilmesine de pekâlâ olanak sağlayabilir.

Bu bölümün geri kalanı ve bir sonraki bölüm, Maldacena'nın anlattıklarımızı nasıl başardığını ele alacak ve belki de şu ana kadar yaptığımız açıklamaların en zoru olacaktır. Önce bir özetle başlayayım. Böylece, ilginizi çekmez de anlatacaklarımı okumadan son bölüme geçerseniz, hiç olmazsa vicdanım rahat olsun.

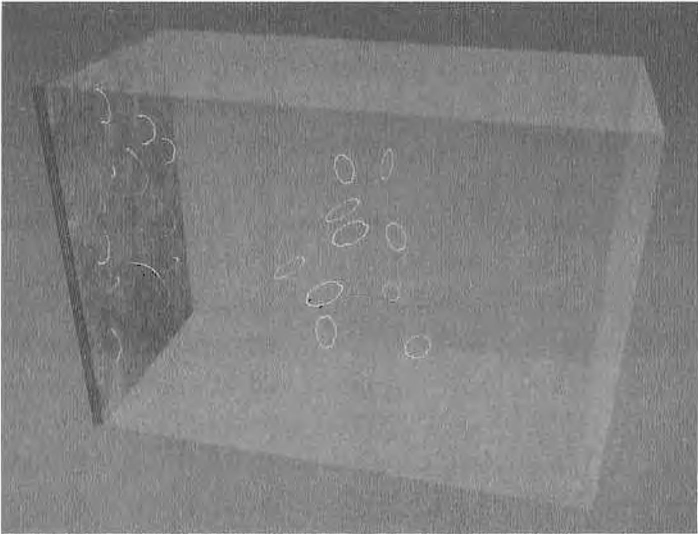
Maldacena'nın yaptığı, V. Bölüm'de ele aldığımız ikilik kavramının yeni bir versiyonunu geliştirmekti. Orada anlattığımız zarları –"ekmek dilimi" evrenleri– hatırlayın. Maldacena, birbirini tamamlayan iki bakış açısından yola çıkarak Şekil 9.4'te *görülen üç boyutlu ve* sıkı sıkı dizilmiş zarlar topluluğunun özelliklerini ele aldı. Bu bakış açılarından biri olan "içsel" bakış, zarların üzerinde hareket eden, titreşen ve kıpırdayan sicimlerle ilgiliydi. Diğer bakış açısı olan "dışsal" bakış ise tıpkı Güneş'in ya da Dünya'nın kendi yakın çevresi üzerindeki etkileri gibi, zarların kütleçekimi açısından kendi yakın çevrelerini nasıl etkilediklerini ele alıyordu. Maldacena her iki bakış açısının da aslında tek ve aynı fiziksel durumu tanımladığını, sadece bu tanımların duruma farklı yerlerden bakıyor olmalarıyla ayrıldığını belirtiyordu. İçsel bakışta sicimler kümelenmiş zarlar üzerinde hareket ederken, dışsal bakışta sicimlerin kümelenmiş zarlarla sınırlanmış bir eğri uzay-zaman bölgesindeki hareketleri söz konusudur. Bu iki bakış açısını eşitleyen Maldacena, bir bölgede yer alan fizikle, o bölgenin sınırlarında yer alan fizik arasında açık bir bağlantı olduğunu buldu; böylece holografinin açık bir şekilde gerçekleştiğini keşfetti. Ana fikir budur.

Biraz daha ayrıntıya girecek olursak öykü şöyle devam eder.

Maldacena'nın dediği gibi, kümelenmiş üç-zarı ele alın. Bu zarlar, yekpare bir tabaka gibi görünecek şekilde birbirlerine çok yakın aralıklarla dizilmiş olsunlar (bkz. Şekil 9.4). Şimdi böyle bir ortamda hareket eden sicimlerin davranışlarını inceleyin. Hatırla-

yacağınız gibi, iki tür sicim –uçları açık biçimde olanlar ve kapalı halka biçiminde olanlar– vardı ve açık sicimlerin uçları zarların üzerinde ve içinde hareket edebiliyorlar ama onların dışına çıkamıyorlardı. Kapalı sicimlerin ise uçları yoktu ve bu sayede uzay alanının her tarafında serbest biçimde dolaşabiliyorlardı. Konunun jargonuyla söylersek, açık sicimler zarlara mahkûmken, kapalı sicimler uzay *hacminin* her yanında hareket edebiliyorlardı.

Maldacena'nın ilk adımı matematik hesaplamalarında düşük enerjili sicimlere odaklanmaktı –yani görece daha yavaş titreşen sicimlere. Nedeniyse şuydu: Herhangi iki cisim arasındaki kütleçekimi kuvveti, her birinin kütlesiyle orantılıydı; iki sicim arasındaki kütleçekimi kuvveti için de aynı şey söz konusuydu. Düşük enerjili sicimlerin kütlesi küçüktür, bu yüzden kütleçekiminden fazla etkilenmezler. Maldacena düşük enerjili sicimlere odaklanarak kütleçekiminin etkisini yok etme yoluna gitti. Bu yaklaşım, önemli bir basitleştirmeyi de beraberinde getirdi. Sicim kuramında, V. Bölüm'de gördüğümüz gibi, kütleçekimi bir noktadan diğerine kapalı halkalarla aktarılır. Bu nedenle kütleçekimi kuvvetini bastırmak, kapalı sicimlerin karşılaştıkları her-



Şekil 9.4 Açık sicimlerin zar yüzeylerine mahkûm olduğu yakın aralıklı dizilmiş üç-zar topluluğu ve "hacim" içinde hareket eden kapalı sicimler.

hangi bir şey –özellikle zar yığınında bulunan açık sicimler– üzerindeki etkisini de bastırmak anlamına geliyordu. İki tür sicimin, açık ve kapalı, birbirlerini etkilememesini sağlayarak Maldacena her birinin birbirlerinden bağımsız olarak analiz edilebilmesini sağlamış oluyordu.

Ardından, Maldacena bu durumu daha farklı bir bakış açısıyla ele aldı. Bu kez, üç-zarı açık sicimlerin hareketini destekleyen bir alt yapı olarak görmek yerine, bunları, kendine özgü kütlesi olan, dolayısıyla, çevresindeki uzay ve zamanı bükebilen tek bir cisim olarak ele aldı. Daha önce bir grup fizikçi tarafından yapılan çalışmalar bu görüşe iyi bir altyapı oluşturduğu için Maldacena şanslıydı. Bu çalışmalara göre, daha fazla zarı bir araya yığdığınızda toplu kütleçekim alanları gittikçe güçlenir. Sonuçta, zar tabakası tıpkı bir kara delik gibi davranış gösterir. Bu zar biçimli yapıya *kara zar* denildi. Sıradan kara delikler gibi, kara zara *çok* yaklaştığınızda da kaçışınız yoktur. Yine sıradan kara deliklerde olduğu gibi, uzaktan herhangi bir şeyin kara zara yaklaştığını izlediğinizde, size ulaşacak ışık, kara zarın kütleçekimine karşı koymaya çalışmaktan yorgun düşmüş olacağından, cisim daha az enerjiye sahip ve daha yavaş hareket ediyor gözükecektir.[14]

Bu ikinci bakış açısıyla Maldacena bu tür bir kara tabaka bulunduran evrenin düşük enerji özelliklerine odaklandı. İlk bakış açısı üzerinde çalışırken olduğu gibi, bu duruma dair düşük enerji fiziğinin de birbirlerinden bağımsız olarak analiz edilebilecek iki bileşeni olduğunu fark etti. Yavaş titreşen ve uzay hacminin her yerine gidebilen kapalı sicimler en tipik düşük enerji taşıyıcılarıydı. İkinci bileşen kara zarın varlığıyla ilgiliydi. Kara zardan epeyce uzakta olduğunuzu ve elinizde çok yüksek bir enerjiyle titreşen bir kapalı sicim olduğunu düşünün. Bu sicimi, sizin güvenli bir uzaklıkta kalacağınız şekilde olay ufkuna doğru yaklaştırıyorsunuz. Yukarıda söz ettiğimiz gibi, kara zar sicimin enerjisini daha düşükmüş gibi gösterecek ve size gelen ışık, sicimin ağır çekim bir filmdeki gibi hareket ettiği izlenimini uyandıracaktır. Bu durumda, ikinci tip düşük enerji taşıyıcıları ise kara zarın olay ufkuna yeterince yakın bulunan tüm titreşen sicimlerdir.

Maldacena'nın son adımı, iki bakış açısının bir karşılaştırmasını yapmaktı. Maldacena, her iki bakış açısının da aynı zar yığınını tanımlamasından dolayı, birbirleriyle uyuşmaları gerektiğine dikkat çekti. Her iki tanımlama da uzay hacminde dolaşan düşük enerjili kapalı sicimler içeriyordu, böylece bu noktada bir uyuşma aşikârdır. Ancak iki tanımlamanın geri kalan bölümlerinin de uyuşması lazımdı.

Ortaya çıkan tablo hayret vericiydi.

Birinci tanımlamanın geri kalanı, üç-zar üzerinde hareket eden düşük enerjili açık sicimlerden oluşmaktadır. IV. Bölüm'den hatırlayacağımız gibi, düşük enerjili sicimler, kuantum alanı kuramının nokta parçacıklarıyla gayet açık biçimde tanımlanırlar. Burada da durum böyledir. Bu özel kuantum alan kuramı türünde (hatta şöyle de karışık bir tanımlaması vardır: *Konformal olarak değişmez süpersimetrik kuantum ayar alan kuramı)* bir dizi karmaşık matematiksel bileşen yer alır, ancak bunlardan iki tanesi kolayca anlaşılabilir. Kapalı sicimlerin bulunmaması kütleçekimi alanının da bulunmaması anlamına gelmektedir. Sicimler yalnızca birbirlerine iyice sıkıştırılmış üç boyutlu zarlar üzerinde hareket edebildikleri için kuantum alan kuramı üç uzaysal boyutta (zaman boyutu da ilave edildiğinde toplam dört uzay-zaman boyutunda) geçerliydi.

İkinci tanımlamanın geri kalan kısmı ise uyuşuk, yani düşük enerjili, gözükmek üzere kara zarın olay ufkuna yakın bulundukları sürece değişik titreşim örüntüleri üreten kapalı sicimlerden oluşmaktadır. Bu tür sicimler, kara zar yığınından belli bir uzaklığın ötesine gidememelerine rağmen yine de uzayın dokuz boyutunda (zaman boyutu da ilave edildiğinde, toplam on uzay-zaman boyutunda) titreşip hareket ediyorlardı. Bu bölge kapalı sicimlerden oluştuğu için kütleçekimi kuvveti de söz konusuydu.

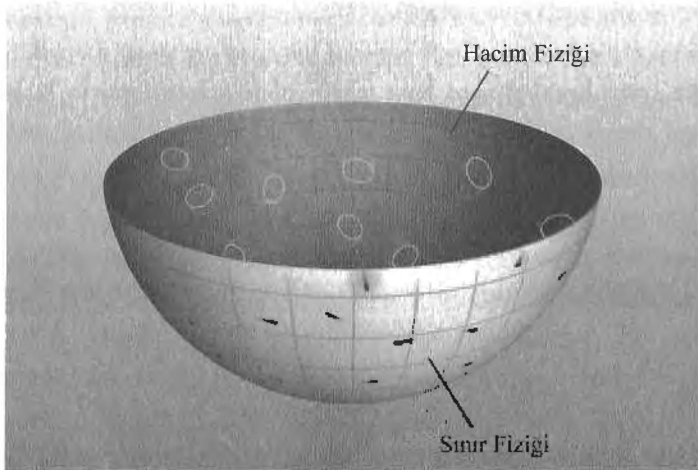
İki bakış açısı ne kadar farklı görünse de tek ve aynı fiziksel durumu tanımladıkları için mutlaka uyuşmaları gerekiyordu. Bu gereklilik, oldukça tuhaf bir sonucu da beraberinde getirdi. *Dört* uzay-zaman boyutunda*, kütleçekimini içermeyen nokta parçacıklı* özel bir kuantum alan kuramı (ilk bakış açısı) ile *kütleçe-*

kimini de hesaba katan, on uzay-zaman boyutunda dolaşan *sicimler* (ikinci bakış açısı) aynı fiziği tanımlıyordu. Bu son derece akıl almaz bir iddiaydı. Doğrusunu söylemek gerekirse, denedim ama gerçek dünyada bu iki kuram kadar birbirinden farklı iki şeyle hiç karşılaşmadım. Ancak Maldacena anlattığımız gibi bir matematik izleyip böyle bir sonuca varmıştı.

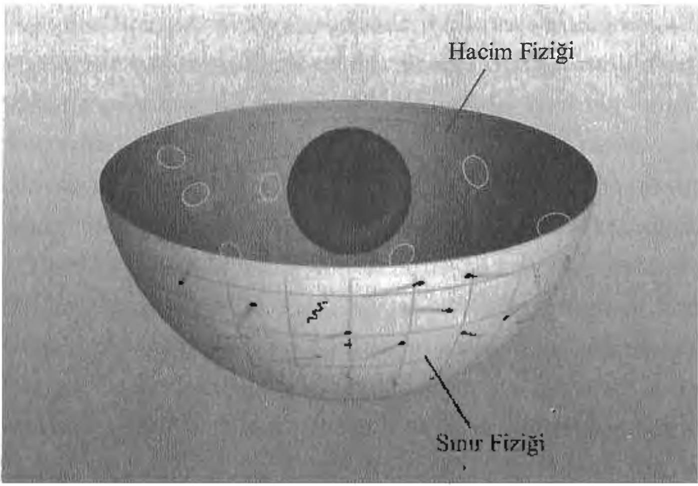
Bu savı, bölümün başlarında ele aldığımız düşünce çizgisine oturtmak, sonucun apaçık ortada olan tuhaflığını –aynı zamanda ileri sürülen savın da cüretkârlığını– azaltan bir unsur değildir. Şekil 9.5'te gösterildiği gibi, kara zar tabakasının kütleçekimi, yakınındaki on boyutlu uzay-zamanın eğrilmesine neden olmaktadır (ayrıntılara gerek yok, ama eğrilmiş uzay-zaman *anti-de Sitter beş-uzay çarpı beş küre* olarak adlandırılmaktadır). Kara zar tabakasının kendisi de bu uzayın sınırını oluşturmaktadır. İşte Maldacena'nın sonucuna göre, bu uzay-zaman şeklinin hacmi içinde tanımlanan sicim kuramı, bu şeklin *sınırında* yaşayan kuantum alan kuramıyla özdeşti.[15]

Bu da holografinin canlandığı anlamına gelmekteydi.

Maldacena müstakil bir matematik laboratuvarı kurmuştu. Pek çok başka şeyin yanı sıra burada fizikçiler bir fizik yasasının



Şekil 9.5 Belli bir uzay-zamanın iç kısmında işleyen sicim kuramı ile bu uzay-zamanın sınırında işleyen kuantum alan kuramı arasındaki ikiliğin şematik gösterimi



Şekil 9.6 Uzay-zaman hacmindeki kara deliğe holografik bir eşdeğerlik sağlandığında, bölgenin sınırında sıcak parçacık banyosu ve ışınım meydana gelir.

holografik bir gerçekleştirmesindeki somut ayrıntılar üzerinde çalışabileceklerdi. Birkaç ay içinde, birini Edward Witten'ın, diğerini Steven Gubser, Igor Klebanov ve Alexander Polyakov'un yazdığı iki makale bir sonraki düzeydeki anlayışı ortaya koydu. Bu fizikçiler, iki bakış açısını birbirine çeviren eksiksiz bir matematiksel sözlük oluşturdular: Zar sınırda bir fiziksel süreç verildiğinde, sözlük bu sürecin hacmin içinde nasıl gözükeceğini gösteriyordu (ya da tam tersini). Sözlük varsayımsal bir evrende holografik ilkeyi açık ve kesin bir duruma getirmişti. Bu evrenin sınırlarında bilgi kuantum alanları tarafından içerilmekteydi. Bilginin matematiksel sözlükle çevirisi yapıldığında, evrenin iç kısmında meydana gelen sicimsi olgulara denk gelmekteydi.

Bu sözlük holografik metaforu daha da uygun bir yapıya kavuşturmaktadır. Gündelik yaşamda kullandığımız hologramla oluşturduğu üç boyutlu görüntü arasında bir benzerlik yoktur. Yüzeyinde sadece plastiğe kazınmış çeşitli çizgiler, yaylar ve helezonlar vardır. Ancak, bu plastiğe bir lazer ışını tutacak olursanız, plastiğin üzerindeki işaretler üç boyutlu anlamlandırılabilir şekillere dönüşür. Bu da plastik hologramın ve üç boyutlu şeklin, her ne kadar bir ortamdaki bilgi öteki ortamın bakış açısın-

dan bakıldığında tanınmaz olsa bile, aynı ortak verileri paylaştıkları anlamına gelir. Benzer biçimde, Maldacena'nın evrenindeki sınır üzerinde işleyen kuantum alan kuramını incelediğiniz zaman izlenen özellikler içerdeki kısımda işleyen sicim kuramıyla bir benzerlik taşımamaktadır. Bir fizikçiye bu iki kuramı verip şu ana kadar anlattığımız bağlantılardan söz etmezseniz, muhtemelen size bu iki kuramın birbirleriyle hiçbir ilişkisi olmadığını söylerdi. Ancak bu iki kuramı ilişkilendiren matematiksel sözlük –tıpkı lazerin sıradan hologramlardaki işlevi gibi– birinde gerçekleşen herhangi bir şeyin diğerinde bir yansımasının bulunduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, bu sözlüğü incelediğimizde, gerçek hologramda olduğu gibi, her birindeki bilginin diğerinin diline çevrildiği zaman karıştırılmış olduğunu görürüz.

Bununla ilgili çarpıcı bir örnek, Witten'ın sınır kuramı çerçevesinden bakıldığında Maldacena evreninin iç kısmındaki kara deliğin nasıl görüneceğini incelemesidir. Hatırlarsanız, sınır kuramı kütleçekimine yer vermediğinden, kara delik kavramı ister istemez kara deliğe benzemeyen başka bir şeye dönüşür. Witten'ın sonucuna göre, sıradan bir adam nasıl Oz Büyücüsü'nün korkunç görünümüne bürünüyorsa, sınır kuramındaki sıcak parçacık banyosu da holografik yansıma sürecinde o her şeyi yutan kara deliğe dönüşüyordu (Şekil 9.6). Gerçek bir hologram ve ürettiği görüntü gibi, iki kuram –içeride bir kara delik, sınır yüzeyde sıcak bir kuantum alan kuramı– birbirlerine hiçbir biçimde benzemeseler de aynı bilgiyi içermektedirler.*

Platon'un mağara benzetmesi gibi, duyularımız aslında çok daha zengin dokulu olan gerçekliğin sadece düzleştirilmiş, küçültülmüş bir yanını anlayabilmektedir. Maldacena'nın düzleştirilmiş dünyası çok farklıdır. Küçültülmüş olmaktan uzak bir şe-

* Uzun süredir devam eden bir tartışmayla ilgili olarak bu bölümde anlatmadığım bir nokta var. Konu, kara deliklerin kuantum mekaniğinde bir değişiklik gerektirip gerektirmediği –kara deliklerin bilgiyi yutarak olasılık dalgalarının zamanda ileriye doğru bütünleşik bir şekilde evrilme olanağını altüst edip etmediğiyle ilgili. Kısaca özetlersek, Witten'ın sonucu, kara delikle, bilgiyi yok etmeyen fiziksel bir durum (sıcak bir kuantum alan kuramı) arasında eşitlik kuruyor ve kara deliğe düşen tüm bilgilerin dış dünyaya açık olduğunu belirtiyordu. Kuantum mekaniğinin değişikliğe ihtiyacı yoktur. Maldacena'nın keşfine dayalı bu uygulama, sınır kuramının, kara deliğin yüzeyinde depolanmış bilgiye (entropi) dair bütünüyle bir tanım getirdiğini belirtmektedir.

kilde, tüm öyküyü dile getirmektedir. Alıştığımızdan çok farklı bir öyküyü. Ama anlaşılan o ki bu düzleşmiş dünya öykünün birincil anlatıcısı olabilir.

Paralel Evrenler mi Yoksa Paralel Matematik mi?

Hem Maldacena'nın sonucu, hem bu sonuca dayalı diğer çalışmalar varsayımsal addedilmektedir. Matematiği son derece zor olduğu için, kesin bir yargı öne sürebilmek kolay değildir. Ancak holografik görüşler birçok titiz matematiksel sınamalardan geçirilmiş, sorunsuzca ayakta kalmış ve fizikteki belli başlı görüşler içine girerek fizikçilerin doğanın yasalarını anlamaya uğraştıkları çalışmalarda yerini almıştır.

Sınır ve hacim dünyaların birbirlerinin kılık değiştirmiş versiyonları olduğunu ispatlamanın zorluğuna katkıda bulunan bir etken, eğer doğruysa, sonucun etkisini de güçlü hale getirmektedir. V. Bölüm'de fizikçilerin yaklaştırma tekniklerine, yani pertürbatif yöntemlere neden bel bağlamış olduklarını açıklamıştım (Ralph ve Alice'in şans oyunu örneğini hatırlayın). Bu tür yöntemlerin, ancak ilgili eşleşme sabitinin küçük bir sayı olması durumunda doğru olabileceğini söylemiştim. Sınır üzerindeki kuantum alan kuramıyla iç hacimdeki sicim kuramı arasındaki ilişkiyi incelediğinde, Maldacena bir kuramın eşleşmesinin küçük olduğunda diğerinin büyük olduğunu (ya da tam tersini) gördü. En doğal sınama yöntemi ve iki kuramın gizli denkliklerini ispatlamanın olası bir yolu, her iki kuramda da birbirinden bağımsız hesaplamaları yapıp sonra bunların eşitliğini kontrol etmektir. Ancak bu, yapılması zor bir iştir çünkü pertürbatif yöntemler biri için işlese bile, diğeri için işlememektedir.[16]

Bununla birlikte, Maldacena'nın bir önceki alt başlıkta anlatılan daha soyut görüşünü kabul edecek olursanız, pertürbatif dezavantaj, hesaplama adına bir avantaja dönüşecektir. V. Bölüm'de sicim ikilikleriyle ilgili bulduğumuz gibi, hacim-sınır sözlüğü, bir kuramın büyük bir eşleşmenin zorlaştırdığı karmaşık hesaplamalarını, bir diğerinin küçük eşleşme içeren açık ve

anlaşılır hesaplarına çevirmiştir. Son yıllarda bu yöndeki çalışmalar deneysel olarak test edilebilir sonuçlara yol açmıştır.

New York, Brookhaven'daki Göreli Ağır İyon Çarpıştırıcısı'nda (Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC) altın çekirdekleri birbirleriyle ışık hızından biraz az denilebilecek bir hızla çarpıştırılmaktadır. Çekirdekte çok sayıda proton ve nötron bulunduğundan dolayı, çarpışmaların sonucunda ortaya çıkan parçacık karmaşası Güneş'in merkezindeki sıcaklığın 200.000 katından fazla sıcaklıkta olabilmektedir. Bu sıcaklık, proton ve nötronları eriterek, onları kuarklardan ve kuarkların arasında gidip gelen glüonlardan oluşan bir sıvıya dönüştürmeye yetecek derecede yüksektir. Fizikçiler, *kuark glüon plazması* adı verilen bu akışkan benzeri fazı anlamak için büyük çaba sarf etmişlerdir çünkü madde büyük patlamadan sonra büyük olasılıkla kısa bir süre için böyle bir hale dönüşmüş olabilir.

İşin zor yanı şu ki kuarklardan ve glüonlardan oluşan bu sıcak çorbayı tanımlayan kuantum alan kuramının (*kuantum renk dinamiği*) eşleşme sabitinin değeri büyüktür, bu da pertürbatif yöntemlerindeki hassasiyeti riske sokar. Bu sorunu ortadan kaldırmak için akıllıca teknikler geliştirildi fakat yine de deneysel ölçümler bazı kuramsal sonuçları çürütmeye devam etmektedir. Örneğin, herhangi bir sıvı akarken –ister su, ister pekmez, isterse kuark glüon plazması olsun– sıvının her tabakası, altındaki ya da üstündeki tabakaya bir sürüklenme kuvveti uygular. Bu *sürüklenme kuvveti kesme viskozitesi* olarak bilinir. Göreli Ağır İyon Çarpıştırıcısı'nda yapılan deneyler, kuark glüon plazmasının kesme viskozitesini ölçtü ve çıkan sonuçlar, pertürbatif kuantum alan kuramı hesaplamalarının tahmin ettiğinden çok daha küçüktür.

İlerlemek için şöyle bir yol izlenebilir: Holografik ilkeyi anlatırken yaklaşımım, yaşadığımız her deneyimin uzay-zamanın içinde gerçekleştiği ve bu deneyimlerin uzak bir sınır yüzeydeki süreçlerin yansıması olduğu şeklindeydi. Bu görüşü tersine çevirelim. Bizim evrenimizin –daha net olarak söylemek gerekirse, evrenimizdeki kuark ve glüonların– sınırda yer aldığını ve dola-

yısıyla sınırın da Göreli Ağır İyon Çarpıştırıcısı deneylerinin yapıldığı yer olduğunu düşünelim. Şimdi Maldacena'yı hatırlayalım. Maldacena'nın sonuçlarına göre, Göreli Ağır İyon Çarpıştırıcısı deneylerinin (kuantum alan kuramınca tanımlanmaktadır) hacimde dolaşan sicimlerle ifade edilebilen alternatif bir matematik tanımı vardır. Ayrıntılar karmaşık olsa da bu yeniden ifade edişin gücü hemen ortadadır: Sınırdaki tanımlamanın (eşleşmenin büyük olduğu) zor hesaplamaları, hacimdeki tanımlamanın (eşleşmenin küçük olduğu) daha basit hesaplamalar*ın*a dönüştürülmektedir.[17]

Pavel Kovtun, Andrei Starinets ve Dam Son bu matematik hesaplamaları yapmışlar ve buldukları sonuçlar deneysel verilere şaşırtıcı ölçüde yakın çıkmıştır. Bu öncü çalışma, pek çok kuramcının Göreli Ağır İyon Çarpıştırıcısı'nın gözlemleriyle bağlantı kurmak çabasıyla çeşitli sicim kuramı hesaplamalarına kalkışmak istemelerine yol açmış, kuramla deney arasında kurulacak bağla sicim kuramcılarının epeydir beklenen bir yeniliğe adım atmalarını sağlamıştır.

Şu da akılda tutulmalıdır ki sınır kuramı evrenimizi tam olarak modelleyemez çünkü, örneğin, kütleçekimi kuvvetini hesaba katmaz. Bu elbette Göreli Ağır İyon Çarpıştırıcısı'nın verileriyle bağ kurmaya engel değildir, çünkü oradaki deneylerde parçacıkların kütleleri o kadar küçüktür ki (ışık hızına yakın yol alırlarken bile), kütleçekimi kuvvetinin etkisi neredeyse hiçbir rol oynamaz. Ancak yine de buradaki uygulamalarda sicim kuramının "her şeyin kuramı" olarak kullanılmadığını gösterir; kuram, daha geleneksel yöntemleri alıkoyan engelleri çözmek için yeni bir hesaplama yolu sunmaktadır. Muhafazakâr bir çerçeveden bakarsak, kuarkların ve glüonların daha yüksek boyutlu sicim kuramıyla incelenmesi, sicim temelli etkileyici bir matematik hilesi olarak görülebilir. Daha az muhafazakâr olunursa, yüksek boyutlu sicim tanımlamalarının fiziksel olarak, henüz açıklanamamış bir şekilde, gerçek oldukları düşünülebilir.

Muhafazakâr olsun olmasın, bakış açısını bir kenara bırakırsak, elde edilen matematiksel sonuçlarla deneysel gözlemlerin

örtüşmeleri son derece etkileyicidir. Abartmayı sevmem ama bu gelişmeleri on yıllardır kaydedilen en etkileyici gelişmelerden biri olarak görüyorum. On boyutlu uzay-zaman içinde dolaşan sicimleri kullanan bu tür matematiksel hesaplamalar bize dört boyutlu uzay-zamanda bulunan kuarklar ve glüonlar hakkında bir şeyler söylemektedir –ve hesaplamaların söylediği o "bir şeyler" de deneysel olarak doğrulanabilmektedir.

Sonuç: Sicim Kuramının Geleceği

Bu bölümde sözünü ettiğimiz gelişmeler sicim kuramını değerlendirmenin ötesindedir. Wheeler'ın evrenin bilgi bağlamında analiz edilmesi gerektiği vurgusundan başlayıp entropinin saklı bilginin ölçüsü olduğunu fark etmeye ve Termodinamiğin İkinci Yasası ile kara delikleri uzlaştırmaya, oradan, kara deliklerin bilgiyi yüzeylerinde depoladıklarına, daha sonra, kara deliklerin uzayın belli bir bölgesinde depolanabilecek bilgi miktarının maksimum sınırını belirlediğine kadar, yıllar içinde uzun bir yolculuk yaptık ve elde edilen karmaşık sonuçları baştan aşağı gözden geçirdik. Bu yolculuk, gerçekten önemli kavrayışlarla doluydu; bizi de birleştirici bir fikre doğru yönlendirdi –holografik ilkeye. Gördüğümüz gibi, bu ilke, şahit olduğumuz olguların uzak, ince bir sınır yüzeyden yansıdığını ileri sürmektedir. Geleceğe baktığımızda, holografik ilkenin yirmi birinci yüzyılda fizikçilere yol gösteren bir fener olacağını düşünüyorum.

Sicim kuramının, holografik ilkeyle uyumlu olması ve holografik paralel evrenlere yönelik somut örnekler sunabilmesi, en üst seviyedeki gelişmelerin bir araya gelerek nasıl güçlü bir sentez oluşturabileceğinin kanıtıdır. Bu örneklerin açık ve kesin matematiksel hesaplamalara bir zemin oluşturması ve bazı hesaplamaların sonuçlarının gerçek dünyada yapılan deney sonuçlarıyla uyumlu olması, gözlemlenebilir gerçeklik ile bir bağ kurabilmek adına atılmış memnuniyet verici önemli adımlardır. Ancak sicim kuramının kendi içinde tüm bu gelişmelerin yerleştirilebileceği daha geniş bir çerçevesi de bulunmaktadır.

Sicim kuramının ortaya atılmasından sonraki yaklaşık otuz yıl içinde, fizikçiler kuramın tam bir matematiksel tanımından yoksundular. İlk sicim kuramcıları titreşen sicimlerin ve ekstra boyutlara dair temel fikirleri ortaya koydular. Ancak devamındaki yıllarca süren çalışmalara karşın, kuramın matematiksel temelleri yaklaşık ve bu nedenle tamamlanmamış durumda kalmıştır. Maldacena'nın görüşleri yadsınamaz bir gelişme sağlamıştır. Maldacena'nın sınırda yaşamak olarak tanımladığı kuantum alan kuramı türleri, parçacık fizikçilerinin yirminci yüzyılın ortalarından bu yana yaptıkları çalışmalar içinde matematiksel olarak en iyi anlaşılmış olanlarındandır. Bu kuram, kütleçekimini içermez ve bu önemli bir artıdır çünkü, gördüğümüz gibi, genel göreliliği doğrudan kuantum alan kuramı ile bağdaştırmaya çalışmak, ateşle barutu bir araya getirmek gibidir. Bu matematik dostu ve kütleçekimini içermeyen kuantum alan kuramının, sicim kuramını –içinde kütleçekiminin hesaba katıldığı bir kuram– holografik olarak *ürettiğini* öğrendik. Şekil 9.5'te şematik olarak gösterildiği gibi, özel biçimli bir evrenin sınırında işleyen bu kuantum alan kuramı, içeride hareket eden sicimlerin tüm fiziksel özelliklerini, süreçlerini ve etkileşimlerini içermektedir; ikisi arasındaki bağlantı ise aralarındaki sözlük sayesinde olguları birbirine çevirerek açık bir biçimde ifade edilmektedir. Sınır kuantum kuramının matematiksel olarak ayağı yere basan bir tanımının olması, *bu kuramı sicim kuramının matematiksel tanımı olarak kullanabilmemizi sağlamaktadır,* en azından bu uzay-zaman biçimi içinde dolaşan sicimler için. Holografik paralel evrenler bu nedenle temel yasaların bir uzantısı olmaktan çok daha fazla şey ifade etmektedir; belki de temel yasaların tanımlarının bir parçası durumundadırlar.[18]

IV. Bölüm'de sicim kuramını takdim ederken, doğa yasalarına yeni bir yaklaşım olarak nitelendirilebilecek bir değere sahip olduğunu, bununla birlikte geçmişteki yasaları ortadan kaldırmadığını söylemiştim. Bahsettiğimiz yeni sonuçlar bu sözümü çok farklı bir düzeye taşımaktadır. Sicim kuramının kuantum alan kuramına indirgenmesi yalnızca bazı durumlar için geçerli de-

ğildir. Maldacena'nın sonuçları, sicim kuramı ile kuantum alan kuramının farklı dillerde ifade edilmiş denk yaklaşımlar olduğunu belirtmektedir. Aralarındaki geçiş karmaşıktır, bu nedenle de bağlantının aydınlatılması kırk yılı almıştır. Eğer Maldacena'nın görüşleri, elimizdeki kanıtların gösterdiği ölçüde, tümüyle doğruysa, o zaman sicim kuramıyla kuantum alan kuramı bir paranın iki yüzü gibi olabilirler.

Fizikçiler yöntemleri genelleyebilmek, böylece sonuçları her biçimdeki evrene uygulayabilmek için uğraşmaktadırlar. Eğer sicim kuramı doğruysa, bu, bizim evrenimizi de kapsayacaktır. Ancak şu andaki sınırlılıklarla bile, uzun yıllardır üzerinde çalıştığımız bir kurama en sonunda sağlam bir formülasyon sağlayabilmiş olmamız gelecekteki gelişmeler için önemli bir temel oluşturmuştur. Bu da bir fizikçinin dans edip şarkı söylemesi için yeterli bir nedendir.

X. Bölüm

Evrenler, Bilgisayarlar ve Matematiksel Gerçeklik

Benzetimli ve Sonbiçim Çoklu Evrenler

Önceki bölümlerde ele aldığımız paralel evren kuramları, fizikçilerin doğanın işleyişindeki derinlikleri anlamak için geliştirdikleri matematik yasalarından doğmuştur. Bu yasalara duyulan güven, tıpkı her biriyle ilişkilendirilmiş paralel dünyaların çeşidinin ve mantıksal gerekliliklerinin gösterdiği farklılıklar gibi, büyük farklılıklar göstermektedir –kuantum mekaniği tamamen kanıtlanmış bir kuramken, şişme evreli kozmolojinin gözlemsel kanıtları bulunmaktadır; sicim kuramı ise tamamen spekülatiftir. Ancak genel yapı bellidir. Kendimizi öne sürülen belli başlı fizik yasalarının matematiksel temellerinin kontrolüne bıraktığımızda, bizi tekrar ve tekrar paralel dünyaların bir türüne doğru sürüklediklerini görürüz.

Şimdi farklı bir yola başvuralım. Kontrolü biz ele alsak ne olur? Biz insanlar kendi irademizle kendi evrenimize paralel evrenleri yaratacak biçimde kozmik düzeni yönlendirebilir miyiz?

Siz de benim gibi canlı davranışlarının doğa yasalarıyla yönetildiğine inanıyorsanız, bunun farklı bir yola başvurmak anlamına gelmediğini, yalnızca insan eylemiyle yönlendirilen fiziksel yasaların etkisine dair kısıtlayıcı bir bakış açısını ifade ettiğini görürsünüz. Bu düşünce, çağlar boyu süregelen determinizm ve özgür irade tartışmasını açacaktır ama benim burada böyle bir niyetim yok. Benim asıl sorum şu: İzleyeceğimiz bir filmi ya da yiyeceğimiz bir yemeği seçerken hissettiğimiz irade ve kontrol hislerinin aynısıyla bir evren yaratabilir miyiz?

Soru biraz saçma gelebilir. Öyle de zaten. Size şöyle bir tüyo vereyim; böyle bir soru sorduğumuz anda karşımıza çıkabilecekler, şu ana kadar ele aldığımız konulardan bile daha spekülatif olacaktır ve şu ana kadar nerelerde olduğumuzu göz önünde bulundurmanız çok şey söyleyecektir. Ama gelin biraz eğlenelim ve görelim bakalım nerelere varacağız. Şöyle bir çerçeve çizeceğim. Evren yaratma düşüncesi üzerine kuracağım senaryolarda, uygulamadaki kısıtlamalar yerine tamamen bilinen temel fizik yasalarının mümkün kıldıklarıyla ilgileneceğim. Dolayısıyla, "sizin" bir evreni yaratmanızdan söz ediyorsam, gerçekte sizi, gelecekteki torunlarınızdan birini ya da milyarlarca yıl sonra yaşayacak olan bir ordu kalabalığındaki kuşaklarınızı kastediyorum demektir. Günümüzdeki ya da gelecekteki bu insanlar yine fizik yasalarına tabi olacaklardır, ancak hepsinin ileri teknolojinin bütün nimetlerine sahip olduklarını varsayacağım. Bir de iki ayrı evren tipi yaratıldığını düşüneceğim. İlk tip bildiğimiz evrenleri, engin bir uzay ihtiva eden, değişik madde ve enerji biçimleri ile dolu olan evrenleri kapsamaktadır. İkincisi ise daha az elle dokunulabilir, hissedilebilir olan bilgisayarda yaratılmış sanal evrenler. Bu tartışma ister istemez üçüncü bir çoklu evren önerisine sürükleyecek. Bu evren bir evren yaratmakla ilgili düşüncelerden kaynaklanmak yerine, matematik ile ilgili bir soruyu cevaplamaya yönelik olacak: Matematik "gerçek" mi, yoksa zihnimizin yarattığı bir şey mi?

Bir Evren Yaratmak

Evrenin bileşenlerini tanımlama konusunda hâlâ belirsizlikler bulunsa da –Kara enerji nedir? Temel tanecik bileşenlerin tam bir dökümü nasıldır?– bilim insanları en azından şundan eminler: Kozmik ufkumuz içindeki her şeyi toplayıp tartsanız, sonuç yaklaşık 10 milyar milyar milyar milyar milyar milyar gram gelir. Eğer evrenin içindekilerin ağırlığı bundan önemli ölçüde az ya da çok olsa, bu içeriklerin kozmik mikrodalga fon ışınımı üzerindeki kütleçekimsel etkileri Şekil 3.4'te gösterilen lekelerin daha büyük ya da daha küçük olmasına yol açar; bu da açısal genişliklerinin hassas ölçümleri ile çelişirdi. Gözlemlenen evrenin tam ağırlığı şu anda ikinci planda; benim vurgulamak istediğim bu ağırlığın olağanüstü büyüklüğü. Öylesine büyük ki biz insanlar için benzer başka bir evren yaratma fikri düpedüz ahmaklık gibi gözükmektedir.

Büyük patlama kozmolojisini evren yaratma için model olarak alsak bu sorunu nasıl aşacağımız konusunda herhangi bir işaret bulamayız. Standart büyük patlama modeline göre, gözlemleyebildiğimiz evren başlangıçta çok daha küçüktü, ama bugün ölçtüğümüz muazzam miktarda madde ve enerji hep vardı; sadece daha küçük bir hacmin içine sıkışmışlardı. Bugünkü evren gibi bir evren isterseniz, önce kütlesi ve enerjisi bugün gördüğümüz miktarlarda olan hammaddeyle başlamanız gerekir. Büyük patlama kuramı bu hammaddeyi bir açıklaması olmayan bir verilen olarak kullanıyor.[1]

O zaman, büyük patlama doğrultusunda bir evren yaratmak için yapmamız gereken, muazzam miktarda bir kütleyi bir araya getirip çok küçük bir boyuta sıkıştırmak. Her ne kadar imkânsız olsa da bunu başardık diyelim, başka bir zorlukla karşılaşırız. Patlamayı nasıl ateşleyeceğiz? Büyük patlamanın uzayın durağan bir bölgesinde meydana gelmiş bir patlama olmadığını, uzayın kendisinin genişlemesini tetiklediğini hatırlarsak, durum daha da güçleşecektir.

Eğer büyük patlama kuramı kozmolojik düşüncenin yegâne kuramı olsaydı, evren yaratma düşüncesi bu noktada biterdi.

Ama değildir. Büyük patlama kuramının daha kapsamlı şişme evreli bir kozmoloji anlayışının gelişmesine yol açtığını gördük. Bu anlayış daha ileri gidebilmemizi sağlayan bir strateji sunmaktadır. Uzayın genişlemesinin dışa doğru güçlü bir patlamayla başladığını öne süren şişme evreli kuram, herhangi büyük bir patlamadan ziyade kütleçekimi karşıtı bir büyük infilaktan söz etmekte ve uzayın dışa doğru genişlemesinin böylece başladığını söylemektedir. Birazdan göreceğimiz gibi, aynı derecede önemli olarak, şişme kuramı, en makul tohumlardan bile büyük miktarlarda madde *yaratılabileceğini* belirtmektedir.

III. Bölüm'den hatırlayacağınız gibi, şişme evreli yaklaşıma göre, bizimki gibi bir evren –yani, kozmik gravyer peynirindeki boşluk– inflatonun değerinin kendi potansiyel enerji eğrisinde aşağı doğru yuvarlanıp yakın çevremizdeki olağanüstü dışa doğru harekete son verilmesiyle meydana gelmişti. İnflatonun değeri düştükçe, sahip olduğu enerji de her yerde aynı şekilde baloncuğumuzu dolduran bir parçacıklar banyosuna dönüşmüştü. İşte madde bu şekilde oluşmuştu. Burada ister istemez şu soruyu soruyoruz: Peki, inflaton enerjisinin kaynağı nedir?

Kaynak, kütleçekimidir. Şişme evreli genişlemenin bir virüs gibi yayıldığını hatırlayın: Yüksek değerdeki inflaton alanı, içinde bulunduğu bölgenin hızla büyümesine neden olmakta, böylece kendisi de yüksek değerli inflaton alanı ile dolmuş inanılmaz büyüklükte bir uzay hacmi oluşturmaktaydı. Her yerde aynı olan bir inflaton alanı her birim hacme sabit enerji kattığından, inflatonun doldurduğu hacim ne kadar büyükse, o kadar çok enerjiye sahip olacaktır. Genişlemenin ardındaki güç –itici biçimiyle– kütleçekimidir ve bu nedenle, kütleçekimi bölgedeki giderek artan enerjinin de kaynağıdır.

Böylece, şişme kozmolojisinin kütleçekimi alanından inflaton alanına sürekli enerji akışı sağladığı düşünülebilir. Bu enerji sorununu başkasına yüklemek gibi görünebilir –kütleçekimi enerjisini *nereden* sağlıyor? –ama durum bundan daha iyi. Kütleçekimi diğer kuvvetlerden farklıdır çünkü nerede kütleçekimi varsa, orada neredeyse sınırsız bir enerji deposu vardır. Bilinen

bir gerçeğin sıra dışı bir açıklaması oldu bu. Bir tepeden aşağıya atladığınızda, kinetik enerjiniz –kendi hareketinizin enerjisi– giderek artar. Kütleçekimi, yani hareketinizi yönlendiren kuvvet, enerjinin kaynağıdır. Gerçekçi durumlarda yere çakılmanız beklenir; ama ilkesel olarak gittikçe uzayan bir tünelde de aşağı doğru yuvarlanabilirsiniz; o zaman enerjiniz de giderek artar. Kütleçekiminin böyle sınırsız bir enerji sağlamasının nedeni, tıpkı ABD Hazinesi gibi, verdiği borçtan korku duymamasıdır. Düşerken enerjiniz pozitif olarak arttıkça, kütleçekimi enerjisini daha da negatif bir enerji ile telafi eder. Kütleçekimi enerjisinin negatif olduğunu bilirsiniz, çünkü eğer bir tünele düştüyseniz, çıkmak için pozitif enerji harcarsınız –kendinizi bacaklarınızla iter, kollarınızla çekersiniz; böylece kütleçekiminin size verdiği enerjiyi geri ödersiniz.[2]

Çıkartılması gereken sonuç şu ki inflatonla dolu bir alan giderek büyürken, inflaton enerjisini kütleçekimi alanının tükenmek bilmeyen kaynağından sağlar, böylece bölgedeki enerji de hızla artar. İnflaton alanı maddeye dönüşen enerjiyi sağladığı için, şişme kozmolojisi –büyük patlama modelinden farklı olarak– gezegenleri, yıldızları ve gökadaları yaratmak için hammaddeye ihtiyaç duymaz. İhtiyaç duyulan tek şey kütleçekimidir.

Şişme kozmolojisinin gerek duyduğu tek bağımsız enerji kaynağı, şişme evresine yol açacak ilk tohumu yaratmak için gereken enerjidir. Bu tohum da şişmesel genişlemeyi başlatan yüksek değerli inflaton alanıyla dolmuş ufak, küresel bir uzay parçasıdır. Sayısal bir değere dökersek, denklemler, 10^{-26} santimetre genişliğinde ve içini dolduran inflaton enerjisi kütleye dönüştürüldüğünde on gramdan az olan bir uzay parçasının yeterli olacağını göstermektedir.[3] Böylesine küçük bir tohum, şimşekten daha hızlı bir biçimde muazzam bir genişleme geçirecek, giderek artmakta olan enerjiyi de içinde tutarak, gözlemlenebilen evrenden çok daha büyük bir evrene dönüşecektir. İnflatonun toplam enerjisi de gözlemleyebildiğimiz gökadalardaki bütün yıldızları yaratmaya fazlasıyla yetecek biçimde büyük bir hızla artacaktır. Böylece, şişme evreli kozmolojinin idaresinde, büyük patlama-

nın pek de mümkün görünmeyen başlangıç nokta tanımı -10^{55} gramdan fazlasını alıp sonsuz küçüklükte bir zerrenin içine sığdırın– köklü biçimde değişime uğramaktadır. On gram inflaton alanını 10^{-26} santimetre enindeki bir parçanın içine sıkıştırın. Bu, cüzdanınıza sığabilecek bir büyüklüktür.

Yine de bu yaklaşımın bazı sıkıntılı yanları var. Örneğin, inflaton alanı dediğimiz alan hâlâ tamamen varsayımsal bir alandır. Kozmologlar inflaton alanını rahatlıkla denklemlerinde kullanıyorlar ama elektron ve kuarklardan farklı olarak inflaton alanı diye bir alanın varlığına yönelik elimizde henüz hiçbir kanıt yoktur. Diğer bir sorun da şu: İnflatonun gerçekten var olduğu kanıtlansa ya da günün birinde, elektromanyetik alan için yaptığımız gibi, inflatonu kontrol edebilecek araçları geliştirsek bile, gereken inflaton tohumunun *yoğunluğu* yine de olağanüstü büyük olurdu: Atom çekirdeğinin yoğunluğunun yaklaşık 10^{67} katı. Tohumun ağırlığı bir avuç patlamış mısırın ağırlığından daha az olsa dahi bugün düşünebileceğimiz bir sıkıştırıcı kuvvetin trilyonlarca ve trilyonlarca çok üstünde bir basınca ihtiyacımız olurdu.

Bu belki de ancak gelecekteki ileri bir uygarlığın aşabileceği teknolojik bir engel. Peki, çok ileride bir gün, insanlık inflaton alanını kontrol altına alır ve sözünü ettiğim o çok yoğun, ufak parçaları meydana getirecek muazzam sıkıştırıcıları geliştirilirse, evren yaratıcıları mertebesine erişebilecek miyiz? Farz edelim ki insanlık böyle bir imkânsızı başardı ve yapay şişme evresinden geçmiş bölgeler yarattı, o zaman da uzayın bize ait köşesinin bu büyüyen genişlemenin içinde yok olmayacağı konusunda endişelenmemiz gerekir mi? Alan Guth ve bir grup arkadaşı, bu soruları ele alarak bir dizi makale incelemiş ve hem iyi hem de kötü denilebilecek yanıtlara ulaşmışlardır. Son sorudan başlarsak, işin iyi yanını da görebileceğiz.

Guth'un Steven Blau ve Eduardo Guendelman ile birlikte ortaya koyduğu görüşe göre, yapay bir şişme evreli genişlemenin var olan dünyamızı kasıp kavuracağı gibi bir endişeye gerek yoktur. Nedeni basınçtır. Laboratuvarda bir şişme tohumu yaratılsa, bu tohum, inflaton alanının tipik pozitif enerjisini ve negatif ba-

sıncını barındırdığı halde, etrafı, inflaton alan değeri ve basıncı sıfır (ya da sıfıra yakın) olan bildiğimiz bir uzayla çevrilecektir.

Genellikle sıfıra bir kudret atfetmeyiz ama böyle bir durumda sıfır, tüm değişikliklerin nedeni olmaktadır. Sıfır basınç negatif basınçtan daha büyüktür, bu nedenle tohumun dışarısındaki basınç, içerisindeki basınçtan büyük olacaktır. Bu durumda, tıpkı denizin derinliklerine daldığınız zaman kulak zarınızın hissettiği basınç gibi, tohum da bir dış basıncın etkisine maruz kalacaktır. Bu büyük basınç farkı, tohumun çevresine doğru genişlemesini engelleyecektir.

Ancak bu durum, inflatonun genişleme yönündeki zorlayışını yine de tam olarak engellemez. Bir balonu iki elinizle sıkıca kavrayıp içine hava üflemeye başlarsanız, balon şişerken bir anda ellerinizin arasından sıyrılarak şişmeye devam edecektir. İnflaton tohumu da benzer biçimde davranabilir. Tohum, Şekil 10.1'de büyüyen küçük kürecikle gösterildiği gibi, var olan uzaysal çevresi içinden filizlenen yeni bir uzaysal bölge oluşturabilir. Hesaplamalara göre, bu genişleyen uzaysal bölge bir kere kritik bir boyuta erişti mi, Şekil 10.1'deki son biçimde olduğu gibi, ana evrenden kopar ve bağımsız şişmekte olan bir evren meydana gelir.

Bu süreç –*yeni bir evrenin yapay olarak yaratılması*– heyecan verici gözükse de sürecin laboratuvar yanı bunun pek de gerçekleştirilebilir olduğunu söylemiyor. Şişmesel baloncuğun etrafındakileri yutmayacağını bilmek rahatlatıcı olabilir, ancak işin kötü yanı şu ki böyle bir yaratma sürecine dair çok küçük bir kanıt ortada olacaktır. Yeni bir uzay yaratarak genişleyen, sonra da bizden ayrılan bir evren zaten bizim görmeyeceğimiz bir evren olacaktır. Bu yeni evren kopup ayrıldığı zaman, geride bıraktığı derin kütleçekimsel kuyu –bunu Şekil 10.1'deki sonuncu görüntüde görebilirsiniz– bize bir kara delik olarak görünecektir. Bir kara deliğin kenarından ötesini görme imkânımız olmadığından, deneyimizin başarıyla sonuçlanıp sonuçlanmadığını bile anlayamayız: Bu yeni evrene erişim sağlayamayınca, böyle bir evren yaratabildiğimizi belli gözlemlere dayalı olarak söyleyebilmenin de bir yolu kalmaz.



Şekil 10.1 Çevresindeki daha yüksek basınç nedeniyle, şişme tohumu yeni oluşan uzaya doğru genişlemeye zorlanır. Baloncuk evren büyüdükçe ana evrenden kopar, ayrı bir uzay alanı oluşturur. Çevresinde yer alan birisi için bu süreç bir kara deliğin oluşumuna benzemektedir.

Fizik, varlığıyla bizi kötü senaryolardan korumaktadır, ancak bu korumanın bedeli de yaratmayı düşündüğümüz evrene olan erişilmezliktir. İşte bu işin iyi yanıdır.

Guth ve MIT'den meslektaşı Edward Farhi'nin çalışmaları sonucu ortaya çıkan işin kötü yanına gelelim. Guth ve Farhi'nin titiz matematiksel hesaplamalarına göre, Şekil 10.1'de gösterilen olaylar dizisinde bir başka ek bileşene daha ihtiyaç vardır. Nasıl ki bazen balon şişirirken önce kuvvetli bir hava üflemek gerekir ve ondan sonra balon daha kolay şişerse, Guth ve Farhi Şekil 10.1'deki gibi yeni oluşmaya başlayan bir evrenin de şişmesel genişlemesinin başlayabilmesi için kuvvetli bir itici etmene ihtiyaç duyacağını keşfetmişlerdir. Böylesi büyük bir itici etmeni ancak tek bir kaynak sağlayabilir: Bir beyaz delik. Beyaz delik, kara deliğin tersine, maddeyi içine çekmek yerine dışına püskürten varsayımsal bir cisimdir. Bu da öyle uç koşullar gerektirir ki bilinen matematiksel yöntemler iflas eder (tıpkı kara deliğin merkezindeki durum gibi). O halde kısaca belirtirsek, hiç kimse laboratuvar ortamında beyaz delikler yaratmayı düşünemeyecektir. Hiçbir zaman. Guth ve Farhi böylece evren yaratma düşlerine de son noktayı koymuş olmaktadırlar.

Birkaç araştırma grubu bu problemden kurtulmak için daha sonra tekrar çeşitli yollar önermişlerdir. Guth, Farhi ve onlara katılan Jemal Guven şişme tohumu kuantum tünelleme süreciyle yaratıldığında (Manzara Çoklu Evreni'nde tartıştığımıza benzer biçimde), beyaz delik tekilliğinin gerekmediğini bulmuşlar;

ancak kuantum tünelleme sürecinin gerçekleşme olasılığının son derece düşük olduğunu, bu nedenle de herhangi birisinin bunun üzerinde düşünüp zaman harcamasına değmeyecek kadar küçük bir gerçekleşme şansının olduğunu belirtmişlerdir. Bir grup Japon fizikçi, Nobuyuki Sakai, Ken-ichi Nakao, Hideki Ishihara ve Makoto Kobayashi, bir manyetik tekkutbun –standart bir çubuk mıknatısın ya kuzey ya da güney kutbuna sahip olan varsayımsal bir parçacığın– şişme evreli genişlemeyi kolaylaştıracağını ve tekillikleri önleyeceğini açıkladılarsa da aradan geçen kırk yıl içinde henüz hiç kimse bu parçacıklardan birini bulabilmiş değildir.*

Günümüz itibarıyla işin özeti; yeni evrenler yaratmanın kapısı hâlâ açıktır, ama çok az açık. Önermelerin varsayımsal bileşenlere fazlaca dayanıyor olması nedeniyle, gelecekteki gelişmelerle bu kapı tamamen de kapanabilir. Eğer kapanmazsa –belki ileride yapılacak bir çalışmayla evren yaratma olasılığı çok daha güçlü bir hale gelir– böyle bir süreci devam ettirme motivasyonu olacak mıdır? Eğer hiç görme ya da etkileşim kurma ve hatta bu evrenin *yaratılmış* olduğunu bilme olanağımız yoksa neden bir evren yaratalım ki? Yalnızca kozmoloji üzerine değerli görüşleriyle değil, sahte dramlar yaratmasıyla da tanınan Andrei Linde, tanrı rolünü oynamaya çalışmanın karşı konulmaz olduğunu söylemektedir.

Gerçekten öyle midir bilemiyorum. Ancak kabul etmek gerekir ki doğanın tüm yasalarının özünü anlayıp en önemli süreçlerini tekrarlayabilmek müthiş heyecan verici bir şey olurdu. Bununla birlikte, öyle sanıyorum ki, evren yaratma düşüncesi ciddi bir yola girinceye kadar –eğer öyle bir zaman gelirse– bilimsel ve teknik gelişmeler sonuçlarını tahmin bile edemeyeceğimiz öyle imkânlar sağlayabilir ki yapay bir evren yaratma düşüncesi artık hiç de ilginç gelmeyebilir.

Görebileceğimiz ve etkileşimde bulunabileceğimiz türden evrenleri nasıl yaratabileceğimizi bilseydik, bunun cazibesi daha

* İşin ilginç yanı, manyetik tekkutupların neden bulunamadıklarına dair (pek çok birleşik kuram yaklaşımında öngörülmüş olmalarına karşın) açıklamalardan biri şudur; şişme kozmolojisinde gerçekleşen uzayın hızlı genişlemesi nedeniyle bunların sayıları uzayda seyrelir. Oysa burada, gelecekteki şişme evreli süreçleri tetiklemede manyetik tekkutupların bizzat rol oynayabilecekleri söylenmektedir.

çok olurdu. Ancak, bildiğimiz evren kavramına göre uzay, zaman, madde ve enerji gibi standart bileşenlerden oluşmuş olan "gerçek" evrenler için bu şekilde görüp etkileşeceğimiz bir evren yaratabilmemizi sağlayacak, bugün anladığımız biçimiyle fiziğin yasalarıyla uyumlu herhangi bir stratejiye henüz sahip değiliz.

O zaman gerçek evrenleri bir tarafa bırakıp sanal evrenlere bakmaya ne dersiniz?

Düşüncenin Özü

Birkaç yıl önce ateşli, ağır bir soğuk algınlığı geçirmiştim. Ateşler içindeyken gördüğüm halüsinasyonlar sıradan bir rüyanın ya da kâbusun çok ötesindeydi. Aklımdan hiç çıkmayan bir tanesinde, bir grup insanla birlikte içinde çok fazla bir şey olmayan bir otel odasına kapatılmıştım ve halüsinasyonumun içinde başka halüsinasyonlar görüyordum. Günler, haftalar geçtiğinden son derece emindim. Her seferinde gördüğüm ilk halüsinasyona geri döndüğümde, aslında aradan neredeyse hiç zaman geçmemiş olduğunu hayretler içinde fark ediyordum. Odaya tekrar geri çekildiğimi hissettiğimde direniyordum çünkü yine halüsinasyonlar göreceğimi ve gördüklerimi gerçek olarak algılayacağımı biliyordum. Ateşim düşünce, gerçek yaşama döndüğümü ve tüm yaşadıklarımın aslında zihnimin labirentlerinde meydana geldiğini anladım.

Ateşlendiğimde yaşadıklarımdan genelde fazla bir şey öğrenmem, ancak bu deneyimim, o zamana kadar yalnızca soyut olarak anladığım bir konuda farklı bir bakış açısı kazanmamı sağladı. Gerçeklik algımız günlük yaşamımızın bizi inandırdığından daha zayıftır. Normal beyin işlevlerini birazcık değiştirin, dış dünya aynı kalmaya devam etse de gerçeklik olarak algıladığımız şeyler de hemen değişecektir. Bu da klasik bir felsefe sorusunu gündeme getirmektedir. Tüm deneyimlerimiz her birimizin kendi beyin süzgecinden geçip işlemlendiğine göre deneyimlerimizin her anlamda gerçekliğin kendisini yansıttığından ne kadar eminiz? Felsefecilerin yaklaşımıyla ifade edelim: Siz şimdi siz olarak bu cümleyi okuduğunuzu nereden biliyorsunuz? Bel-

ki de uzak bir gezegende uzaylı bilim insanları beyninizin şu an sahip olduğunuz ve gerçek olduğunu sandığınız düşünceleri ve deneyimleri üretmesini sağlıyor olabilirler.

Bu sorular, bilgiyi neyin oluşturduğunu, bilgiyi nasıl edindiğimizi ve bilgiye sahip olduğumuzdan ne kadar emin olduğumuzu sorgulayan ve adına epistemoloji denilen felsefenin bir alt alanının temel sorularıdır. Popüler kültür bu gibi bilimsel konuları *Matrix, On Üçüncü Kat* ve *Vanilla Sky* gibi filmlerle eğlendirici ve düşündürücü biçimlerde geniş bir izleyici kitlesine ulaştırmıştır. O zaman daha serbest bir dille sorarsak, Matrix'e takılı olmadığınızı nereden biliyorsunuz?

Sözün özü şu ki kesin olarak bilemezsiniz. Bizler dünyayı, nöral sistemimizin algılamaya evrildiği şekilde beynimizi tetikleyen duyularımız yoluyla algılıyoruz. Eğer birisi beyninize elektriksel bir uyarıda bulunarak pizza yiyormuş, bu cümleyi okuyormuş ya da yüksek bir yerden atlıyormuş gibi deneyimleri hissetmenizi sağlasa, o deneyimler sizin gerçeğiniz olacaktır. Deneyimler beyindeki süreçlerle kontrol edilmektedir, bu süreçleri neyin harekete geçirdiği ile değil.

Şimdi bir adım ileri gidip biyolojik bedeni tamamen bir kenara bırakalım. Kim bilir belki de tüm düşünceleriniz ve deneyimleriniz normal beyin işlevleri olarak gözüken bir benzetimden (simülasyon) başka bir şey değildir. Etten, kemikten, bir fiziksel gerçeklikten ne kadar eminsiniz? Belki de tüm deneyimleriniz yüksek teknolojiye sahip bir bilgisayar aracılığıyla ateşlenen elektriksel etkilerle oluşmaktadır.

Bu tür senaryoları düşünmenin tehlikesi, her şeyden şüphe duymaya başlamaktır; hiçbir şeye, muhakeme yeteneğimize bile, güvenmeme noktasına geliriz. Bu gibi sorulara benim ilk tepkim şu oluyor: Bir insan beynini benzetimleyebilmek için ne kadar güçlü bir bilgisayara ihtiyacınız vardır? Gerçekten sözünü ettiğimiz senaryodaki gibi bir benzetimin parçasıysam, o zaman nörobiyoloji konusunda yazılanlara neden inanayım? O zaman kitaplar da "gerçek" insan beyninin çalışmasıyla değil, benzetimi yöneten yazılımlar tarafından yönlendirilmiş ve bir benzetim-

deki biyologların yazdığı benzetimler olacaktır. Benzer biçimde, "gerçek" beyin dediğimiz şey de bir bilgisayarın marifetinden başka bir şey olmayacaktır. Bilgi temelinize güveninizi yitirdiğiniz noktada gerçeklik de gerçek olmaktan çıkacaktır.

Bu konulara tekrar döneceğim ama bu düşüncelerin bizi, en azından şu anda, alaşağı etmesini istemiyorum. Onun için şimdilik demir atalım. Gerçek etten kemikten canlılar olduğumuzu ve gerçek olarak kabul ettiğimiz her şeyin hakikaten *gerçek* olduğunu düşünün. Böyle düşünmeye devam ederek bilgisayarları ve beyni ele alalım. Bir insan beyninin işlemleme hızı yaklaşık ne kadardır? Bu hızla, bir bilgisayarın hızını nasıl kıyaslayabiliriz?

Şüphelere saplanıp kalmasak bile bu aslında oldukça zor bir soru. Beynin işlevleri tam olarak anlaşılabilmiş değil. Fakat yalnızca şöyle bir fikir sahibi olmak için bazı rakamlara bakalım. 100 milyon nörondan oluşan, 10 sentlik bir madeni paradan çok daha küçük ve ancak bir iki dosya kâğıdı kalınlığında ince bir tabaka olan insan gözünün retinası, üzerinde en çok inceleme yapılmış nöron ağıdır. Robot teknolojisi araştırmacısı Hans Moravec, bilgisayarda üretilebilecek bir retina sisteminin insan gözünün retina sistemiyle aynı seviyede olabilmesi için saniyede yaklaşık bir milyar işlem yapabilmesi gerektiğini öngörmüştü. Retinanın hacmini tüm insan beyni hacmine oranladığımızda, beyin işlevleri için 100.000 kat fazla bir işlemleme kapasitesi gereklidir. Moravec, insan beyninin etkin bir biçimde benzetimlenmesi için işlemleme hızında çok ciddi bir artış gerektiğini, bunun da saniyede 100 milyon kere milyon (10^{14}) işlem demek olduğunu öne sürmektedir.[4] Bundan bağımsız olarak, beyindeki sinapsların sayısı ve işlemleme hızları ile yapılan hesaplamalar ise bu sayının birkaç katı kadar büyük olup saniyede yaklaşık 10^{17} işlem anlamına gelmektedir. Verilen rakamlar tam tamına kesinlik taşımasa da yaklaşık olarak bir fikir verecek niteliktedir. Şu an kullandığım bilgisayar saniyede bir milyar işlem yapabilecek bir kapasitededir. Günümüzdeki en gelişmiş bilgisayarların hızı saniyede 10^{15} işlem yapacak kapasitededir (Eminim bu kitabın yazıldığı anda bile bu bilgi güncellenir bir duruma gelebilir.). Bey-

nin hızıyla daha yüksek olan tahmini değeri göz önüne alırsak, 100 milyon dizüstü bilgisayarın ya da 100 adet süper bilgisayarın kapasitesi beynin işlemleme hızına yaklaşabilir diyebiliriz.

Bütün bu kıyaslamalar yine de sınırlı kalmaktadır: Beynin gizemleri çok daha fazladır. İşlemleme hızı tüm bunların yalnızca bir tanesidir. Ancak hemen herkesin kabul ettiği gibi, günün birinde, doğanın bize verdiği özelliklere eşit, hatta onu aşan, bilgisayar kapasitesine erişilebilecektir. Fütüristlere göre, gelecekte öyle teknolojik gelişmeler sağlanabilir ki şu anki deneyimlerimizle bu gelişmelerin neler olabileceğini tahmin etme kapasitemiz bile yoktur. En yetkin fizik kuramlarının dahi kapsamı dışında kalan olgularla benzerlik kurarak bu ileriyi görmemiz üzerindeki engeli *tekillik* olarak adlandırmaktadırlar. Öngörülerden biri bilgisayarların insan beyninin kapasitesini geçmesinin insanla teknoloji arasındaki sınırı belirsiz hale getireceği yönündedir. Kimilerine göre, düşünen ve hissedebilen makineler yapılacak ve eski usul biyolojik bedenli bizler beynimizdekileri, dolayısıyla, bilgilerimizi ve kişilik özelliklerimizi *silikon* (silisyum) sürücülere düzenli aralıklarla yükleyerek sınırsız bir süreyle saklayabileceğiz.

Bu tahminler abartı gelebilir. Gelecekte bilgisayarların çok gelişmiş kapasitelere sahip olacağından kuşku yoktur, ancak makinenin insan zihniyle kaynaşır duruma gelip gelemeyeceğini bilmiyoruz. Bu, kökü çok eskilere dayanan bir modern zaman sorusudur; düşünce üzerine binlerce yıldır düşünüyoruz. Bizim dışımızdaki herhangi bir şey kendi iç tepkilerimizi nasıl üretebilir? Acaba sizin renk algılarınız benimkilerle aynı mıdır? Ya işitme ve dokunma duyularınız? Kafamızın içinde duyduğumuz, kendi kendimizle konuştuğumuz ve bilinçli kendimiz olarak adlandırdığımız o ses tam olarak nedir? Bu ses tümüyle fiziksel süreçlerden mi kaynaklanmaktadır? Yoksa bilinç dediğimiz şey fiziksel süreçleri aşan bambaşka bir gerçekliğin parçası olarak mı ortaya çıkmaktadır? Platon ve Aristoteles, Hobbes ve Descartes, Hume ve Kant, Kierkegaard ve Nietzsche, James ve Freud, Wittgenstein ve Turing gibi sayısız filozof asırlardır insan zihni-

ni aydınlatmaya (ya da maskesini düşürmeye) ve içe bakışla erişilebilecek bir tekil iç yaşam gerçeğini bulmaya çalışmışlardır.

Bunun sonucunda, birbirlerinden son derece farklı çeşitli zihin kuramları ortaya atılmıştır. Ayrıntılarına girmeyeceğim ama burada fikir verebilmek için bazılarının üstünde durmak isterim: Birçok versiyonu olan *ikici* (düalist) kuramlara göre, zihnin fiziksel olmayan, vazgeçilmez öneme sahip bir boyutu bulunmaktadır. Yine birçok versiyonu bulunan *fizikselci* zihin kuramları ise ikici kuramları yadsımakta ve tüm bireysel deneyimlerin beynin yalnızca fiziksel durumları olduğunu vurgulamaktadır. Diğer yandan, *işlevselci* zihin kuramları bu doğrultuda biraz daha ileri giderek zihin dediğimiz olguyu yaratmak için önemli olanın birtakım süreçler ve işlevler –sinir devreleri, bunların birbirleriyle olan etkileşimleri, bağlantıları– olduğunu ve bu süreçlerin içinde gerçekleştiği fiziksel ortamın özelliklerinin geri planda kaldığını ileri sürmektedir.

Fizikselci görüşü savunanlara göre, benim beynimi alıp şu ya da bu yöntemle –molekül molekül, atom atom– kopyalasanız, kopya beyin aynen benim gibi düşünecek, benim gibi hissedecektir. İşlevselciler ise şu konuda büyük ölçüde hemfikirdirler ki daha üst düzey beyin yapıları göz önünde bulundurulduğunda –beynimin tüm bağlantılarını kopyalayıp süreçlerini aynen koruyarak ama içinde gerçekleştikleri fiziksel ortamı değiştirerek– aynı sonuçlar elde edilebilir. İkiciler ise her iki görüşe de karşı çıkmaktadır.

Yapay bir bilinç oluşturma düşüncesinin temelinde işlevselci bakış açısı yatmaktadır. Bu bakış açısına göre, bilinçli düşünce beynin kendi fiziksel yapısının değil, bilgiyi işlemleme süreçlerinin sonunda ortaya çıkan bir duyumdur. Bu işlemlemenin şu kadar gram bir biyolojik organda ya da bir bilgisayarda gerçekleşiyor olmasının bir önemi yoktur. Elbette bundan emin olamayız, çünkü bilgi işlemlemeyi sağlayan tüm karmaşık bağlantıların kurulması ve farkındalık dediğimiz durumun oluşması için belki de beyin gibi kıvrımlı, ıslak bir organın varlığı gerekli olabilir. Belki de bilinçli düşünmeyi sağ[redacted]k için, yalnızca zihinsel süreç-

ler ve bağlantılar değil, bunların ortaya çıkmasını sağlayan molekül yapılarının fiziksel olarak varlığı birinci derecede önemlidir. Tüm bu nedenlerden dolayı, belki de bilgisayarların işlemleme kapasiteleri ne kadar gelişirse gelişsin, bilinçli bir farkındalığı sağlayamayacaktır. Kim bilir belki bilinç, çeşitli geleneksel düşüncelerin iddia ettiği gibi, hiçbir biçimde fiziksel bir şey olmayabilir. Bu nedenle de, teknolojik gelişmelerin insan bilincine erişebilmesi imkânsızdır.

Çok daha gelişmiş teknolojilerin ortaya çıkmasıyla tüm bu ve benzeri sorular giderek daha çok gündeme gelmeye başlamış, yanıt sağlamaya yönelik çalışmalar ivme kazanmıştır. Birçok araştırma grubu bilgisayarda insan beyninin benzetimini gerçekleştirmek için çalışmaktadır. Örneğin, IBM'le İsviçre'nin Lozan kentindeki École Polytechnique Fédérale'in işbirliğinde yürütülen Mavi Beyin Projesi IBM'in en hızlı bilgisayarlarında beyin işlevlerini modelleme üzerinde çalışmaktadır. Mavi Gen adı verilen süper bilgisayar, 1997'de dünya satranç şampiyonu Garry Kasparov'u yenen Derin Mavi adlı bilgisayarın daha da geliştirilmiş bir versiyonudur. Mavi Beyin projesinin yaklaşımı sözünü ettiğim senaryolardan farklı değildir. Araştırmacılar gerçek insan beyninin ayrıntılı anatomik incelemelerine dayanarak, nöronların hücresel, genetik ve moleküler yapıları ve bunların bağlantıları üzerine çok daha kesinlik taşıyan bilgileri bir araya getirmek için çalışmaktadırlar. Projenin şu andaki aşamasında, Mavi Gen bilgisayarında benzetimlenmek istenen insan beyninin hücre düzeyinde özellikleri üzerinde çalışılmaktadır. Fare beyninin toplu iğne başı kadar küçük bir bölgesi olan neokortikal sütun üzerinde yapılan on binlerce deney sonucu gelinen şu anki noktada, araştırmacılar, yaklaşık 10 milyon bağlantı üzerinden haberleşmekte olan 10 bin nöronun üçboyutlu bilgisayar benzetimi üzerinde çalışmaktadır. Aynı etkilere gerçek bir fare beyninin verdiği tepkilerle bilgisayar benzetiminin verdiği tepkiler karşılaştırıldığında benzer sonuçlar izlenmiştir. Bu sonuçlar insan beynindeki 100 milyar nöronun işleyişi konusunda bir model sağlayamasa da projenin yürütücüsü sinirbilimci Henry Markram, 2020 yılına

varmadan bilgisayardaki işlemleme hızının en az bir milyon kat arttırılacağını ve Mavi Beyin Projesi'nde insan beyninin eksiksiz bir benzetiminin gerçekleştirileceğini söylemektedir. Mavi Beyin Projesi'nin amacı yapay bir bilinç oluşturmak değil, çeşitli zihinsel hastalıkları tedavi edebilecek çözümler sağlayabilmek için bir araç olmaktır. Temel amaç bu olsa da Markram proje tamamlandığında Mavi Beyin'in konuşma ve hissetme kapasitesine de sahip olabileceğini belirtmektedir.

Sonuçlar nasıl olursa olsun, bu tür araştırmalar zihin kuramları açısından son derece önemli araştırmalardır. Önerilen savlardan hangisinin gerçekten doğru olduğunu bu tür araştırmaları yapmadan bilemeyiz. Elbette bu süreçte ciddi güçlükler de söz konusudur. Söz gelimi, bir gün bir bilgisayar kendisinin bilinçli bir varlık olduğunu iddia etse, gerçekten bilinçli olup olmadığını nasıl anlayacağız? Karım bile benzer iddialarda bulunsa bundan emin olamam. Ne de o benden emin olabilir çünkü bilinç tamamen bireyin kendine özgü bir süreçtir. Ancak insanlar olarak çeşitli etkileşimlerimizde başkalarının bilinçlilik durumunu yansıtan kanıtlar gösterebildiğimiz için, tekbenci olmak gerekmeyebilir. Bilgisayar etkileşimleri de günün birinde benzer bir noktaya erişebilir. Bir gün bilgisayarla konuşup, aynı bir insanmış gibi bilgisayarı teselli etmeye ya da moral vermeye başladığımız zaman, onun da kendine ait bir bilinci olduğunu kabul edecek duruma gelebiliriz.

İşlevselci bir yaklaşım benimseyip işlerin nereye varacağını bir görelim.

Benzetimli Evrenler

Günün birinde bilgisayar temelli bir bilinç yaratılabilirse birileri muhtemelen bu düşünen makineleri yapay insan bedenlerine de yerleştirebilecek ve böylece bildiğimiz gerçekliğe uyumlu mekanik varlıklar –robotlar– yaratılabilecektir. Benim bu noktada asıl ilgilendiklerim, bilgisayar donanımı içindeki bir program vasıtasıyla sadece elektriksel etkilerle tasvir edilen varlıklardan benzetimi yapılmış bir çevreyi dolduran ve yine bu benzetimin

parçası olan varlıklar; yani C-3PO ya da Data gibi örneklerden çok, Sims ya da Second Life gibi programları ama karakterleri bilinçli, düşünen varlıklara dönüşmüş durumda düşünün. Geçmişten günümüze teknolojik gelişmeler göstermektedir ki yapay dünyaların fiziksel ve deneyimsel özellikleri, gerçek yaşam gerçekliğine giderek çok daha yakın bir hale gelmektedir. Bu benzetimleri yöneten insanlar, benzetimli varlıkların gerçekten bir bilgisayar programı içinde var olduklarını bilip bilmeyeceklerine karar vereceklerdir; içinde yaşadıkları dünyanın özenle hazırlanmış bir bilgisayar programı olduğunu tahmin eden benzetimlenmiş insanlarsa kendilerini benzetimlenmiş beyaz önlüklü teknisyenlerin kapattığı benzetimlenmiş koğuşlarda bulacaklardır. Ancak, büyük olasılıkla, bu benzetimli varlıkların çoğu kendilerinin bir bilgisayar benzetiminde olma fikrini çok saçma bulup akıllarına bile getirmeyeceklerdir.

Şu an siz de aynı tepkiyi veriyor olabilirsiniz. Yapay bilinç gibi bir olasılığa inansanız bile, tüm insan uygarlığının, hatta küçük bir topluluğun bile, benzetimlenebilmesinin oldukça gerçek dışı bir yaklaşım olduğunu düşünebilirsiniz. Bu noktada, sayılara biraz daha eğilmek iyi olabilir. Gelecek kuşaklar çok daha büyük miktarlarda maddeyi dev bilgi işlemleme ağlarına aktarabileceklerdir. Şimdi hayallerinize sınır koymayın. Büyük düşünün. Bilim insanlarının tahminlerine göre, bugünkü hızıyla dünya büyüklüğünde bir bilgisayar, saniyede 10^{33} ile 10^{42} arası işlem yapabilir. Daha önce sözünü ettiğimiz gibi, ortalama insan beyni saniyede 10^{17} toplam işlem yapabilme kapasitesine sahiptir. Yüz yıllık bir yaşam süresine vurduğumuzda, ortalama bir insan beyninin 10^{24} toplam işlem yaptığını düşünebiliriz. Bu rakamı, dünyadan gelmiş geçmiş yaklaşık 100 milyar insanla çarparsak, Lucy'den (Arkeolog arkadaşlarım "Ardi" demem gerektiğini söylerler.) bu yana gelmiş geçmiş bütün insanların beyinlerinde gerçekleşmiş toplam işlemlerin 10^{35} civarında olduğu söylenebilir. Aşırıya kaçmamak için saniyede 10^{33} işlem düşünürsek, insan soyunun toplam tüm beyin işlemlemesi dünya büyüklüğünde bir bilgisayarla iki dakikadan az bir zaman alabilir.

Elbette bu, yalnızca bugünün teknolojik sınırları içinde söylenebilen bir rakamdır. Bir kuantum olasılık dalgası içinde temsil edilen tüm ayrı olasılıkları dikkate alarak, aynı anda birden çok işlem yapabilen kuantum hesaplamalarının işlem hızını olağanüstü biçimde yükseltme kapasiteleri vardır. Her ne kadar bugün kuantum mekaniğinin bu özelliğini uygulamaktan oldukça uzak olsak da araştırmacılara göre, dizüstü bilgisayar boyutundan büyük olmayan bir kuantum bilgisayar tüm insan soyunun düşünme süreçlerine eşit bir işlemlemeyi saniyenin çok küçük bir biriminde gerçekleştirebilecektir.

Yalnızca bireyin kendi zihinsel süreçlerini değil, bireyler arası iletişimi ve bu iletişimin yer aldığı çevresel etmenleri de düşünürsek, hesaplama yükü çok daha fazla artacaktır. Ancak, gelişmiş bir benzetim, hesaplama süreçlerindeki olası karmaşıklığı niteliği bozmadan sadeleştirebilir. Bilgisayar sadece kozmik ufkun içinde kalan şeyleri benzetimlerse, benzetimli bir dünyadaki benzetimli insanlar bundan rahatsızlık duymazlar. Kozmik ufkun ötesini göremediğimiz için bilgisayar bunları göz ardı edebilir. Böyle bir benzetimde Güneş'in ötesindeki yıldızlar da sadece benzetimli gecelerde benzetimlenebilir ya da sadece benzetimli yerel hava koşulları bulutsuz gökyüzü sonucunu verdiğinde ortaya çıkabilirler. Başını kaldırıp gökyüzüne bakan kimse yoksa bilgisayarın gökyüzü benzetimcisi kimi kez durup çalışmaya ara verebilir. Yeterince iyi yapılandırılmış bir program, benzetimli insanların zihinsel süreçlerinin ve niyetlerinin bir kaydını tutabilir, böylece daha sonraları ne türden tepkiler verebileceklerini öngörebilir ve gelecekte ona uygun müdahalelerde bulunabilir. Aynı biçimde, hücre, molekül ve atomlar da benzetimlenebilir. Sonuçta bunlar, şu ya da bu bilimsel inanca sahip benzetimli uzmanlar için gereklidir ve bu uzmanlar yalnızca böyle egzotik alanları çalışırken gerekecektir. Bildiğimiz gerçekliğin, benzetimin ne derece detaylı olacağının detaylara ihtiyaç duyulma durumlarına göre ayarlandığı, hesaplama miktarı açısından daha uygun bir kopyası yeterli olacaktır.

İşte bu gibi benzetimli dünyalar düşüncesi de Wheeler'ın söylediği gibi, bilginin birincil önceliğine işaret ediyor. Doğru bil-

giyi taşıyan doğru bağlantılar ürettiğinizde içinde yaşayanlara, aynen bizim hissettiğimiz gibi, son derece gerçek gelen paralel gerçeklikler yaratmak mümkün olabilir. Bu gibi benzetimler, sekizinci çeşit çoklu evren türümüzü oluşturmaktadır, *Benzetimli Çoklu Evren* olarak adlandıracağım çoklu evreni.

Bir Benzetimde mi Yaşıyorsunuz?

Evrenlerin bilgisayarlarda benzetimlenmesi fikri, 1960'larda bilgisayarın öncülerinden Konrad Zuse ve dijital teknoloji gurusu Edward Fredkin'e kadar uzanmaktadır. Üniversitede okurken beş yıl yaz ayları boyunca IBM'de çalışmıştım. Kendisi de bir bilgisayar uzmanı olan merhum patronum John Cocke sık sık Fredkin'in düşüncelerinden söz eder, evrenin Fortran benzeri bir kozmik yazılımla çalışan dev bir bilgisayardan başka bir şey olmadığını söylerdi. Dijital bir paradigmanın bu denli abartılması bana gülünç gelmişti. Yıllar geçti, üzerinde pek de durmadım –ta ki son zamanlarda Oxford felsefecilerinden Nick Bostrom'un söylediklerini duyana kadar.

Bostrom'un dediklerini (Moravec'in de daha önce işaret ettiği gibi) daha iyi anlayabilmek için önce gerçek bir evren yaratmanın güçlükleriyle benzetimli bir evren yaratmanın güçlükleri arasında bir karşılaştırma yaparak başlayalım. Daha önce de sözünü ettiğimiz gibi, gerçek bir evren yaratmanın aşılması son derece zor güçlükleri vardır. Yaratabilsek bile böyle bir evren bizim görebilme yetimizin ötesine düşüyor ki o zaman da neden göremeyeceğimiz bir evreni yaratalım diye sormamız gerekiyor.

Benzetimli bir evren yaratma konusu ise bambaşka. Giderek çok güçlü hale gelen bilgisayarların ya da çok daha karmaşık yazılımların durumu ortada. Bugünün ilkel teknolojisinde bile gerçeğe çok yakın benzetimli ortamlar yaratabiliyoruz. Aslında konu, gelecekteki kuşakların bilgisayarla benzetimli dünyalar yaratıp yaratamayacakları değil. Zaten şu anda bunu yapabiliyoruz. Asıl bilinmeyen, bu benzetimli dünyaların ne ölçüde gerçeğe benzer yapıda olabilecekleri. Yapay bilinç yaratma önünde esastan bir engel varsa tüm bu ihtimaller ortadan kalkar. Ancak

Bostrom'un gerçekçi benzetimlerin mümkün olabileceğini kabul ederek yaptığı şöyle basit bir gözlemi var.

Gelecek kuşaklar muazzam sayıda benzetimli evren yaratacaktır ve bu evrenlerde pek çok kendinin farkında olan, bilinçli canlılar da yer alacaktır. Canı her isteyen bir gece otururken "evren yarat" programını çalıştırabildiğinde, bunu bir kez değil sık sık yapacağını öngörmek hiç de zor değildir. Günün birinde tüm bilinçli varlıkları hesaba katan bir kozmik nüfus sayımı yapılsa, bu türden çiplerden ve baytlardan (ya da gelecekteki eşdeğerlilerinden) oluşmuş varlıkların sayısı, etten kemikten canlıların sayısını fazlasıyla aşabilir. Bostrom'a göre, böyle ciddi bir sayısal farklılık doğarsa, o zaman bizler *gerçek* bir evrende değilizdir. Bu durumda, büyük olasılıkla siz, ben ve geri kalan herkes geleceğin tarihçilerinin yirmi birinci yüzyılda dünyada hayatın nasıl olacağına dair meraklarını gidermek için yarattığı bir benzetimde yaşıyor olabiliriz.

Artık durumu gereğinden fazla abarttığımızı ve en başta bahsettiğimiz ve uzak kalmaya çalıştığımız kuşku batağına saplandığımızı düşünebilirsiniz. Bir bilgisayar benzetiminde yaşıyor olma ihtimalimizin böylesine yüksek olduğu bir anlayışta, bizi bu sonuca götüren mantık da dahil olmak üzere neye, nasıl güvenebiliriz ki? Bildiğimiz bütün doğrular değişebilir. Acaba yarın güneş doğacak mı? Eh, benzetimi yöneten her kimse, fişi çekmediği sürece doğabilir, diyeceğiz. Peki, tüm geçmişte yaşananlar, anılarımız gerçek mi? Öyle gözükse de klavyenin başındaki birisi kalkıp arada sırada bunları yeniden düzenlemek isteyebilir.

Bununla birlikte, Bostrom bir benzetimin içinde olduğumuz sonucunun altta yatan doğru gerçekliği kavrayışımızı tamamen zedelemediğini söylemektedir Bir benzetimde yaşadığımızı düşünsek de temeldeki gerçekliğin şöyle bir özelliğini hâlâ tespit edebiliriz: Bu gerçeklik son derece gerçekçi bilgisayar benzetimlerini mümkün kılıyor. Ne de olsa şu anda böyle bir gerçekliğin içinde olduğumuza inanıyoruz. Öyle ki elimizdeki bilgilere dayanarak benzetimli bir evrende yaşadığımızdan kuşkulansak bile buna pek inanamıyoruz. Başlangıçta anlattığımız her şeyi böyle bir gerçeklik içinde ele almış olmamız belki de çok gerekli bir

şey değildi. Tek başına mantık bir bilgisayar benzetimi içinde yaşamadığımızın garantisini veremez.

Muhtemelen bir benzetim içinde yaşadığımız sonucundan kaçınmanın tek yolu ancak akıl yürütmemizin özünde olan yetersizliklerden yararlanmaktır. Belki de bilinç hiçbir biçimde benzetimlenebilen bir şey değildir, nokta. Ya da Bostrom'un önerdiği gibi, bilinçli yaşam yaratma düzeyine erişmiş bir teknoloji bir gün ters tepip kendi kendini yok edecektir. Belki de gelecek kuşaklar evrenleri benzetimleme kapasitesine ulaşsalar da bunu yapmayı tercih etmeyecekler; belki ahlaki nedenlerle belki de çok daha ilginç başka şeylerin peşine düştüklerinden evren benzetimi artık hiç de ilginç bir şey olarak görülmeyecektir.

Bunların hepsi çok sayıdaki kaçamak noktalarından biridir. Hangisi gerçekleşir, ne olur bilinmez.* En azından, hayallerinize biraz renk katabilir ve şöyle düşünebilirsiniz. Bu benzetimi her kim yönetiyorsa bir gün bir köşede oturup duranlardan kurtulmak isteyecektir. Dikkat çekenlerden biri olmak uzun yaşamak için olanak sağlayabilir.[5]

Benzetimin Ötesini Görmek

Eğer bir benzetimde yaşıyorsanız, bunu anlayabilir misiniz? Bunun yanıtı büyük ölçüde bu benzetimi kimin yönettiğine –bu varlığın adı Benzetimci olsun– ve benzetimin nasıl programlanmış olduğuna bağlıdır. Örneğin, Benzetimci bir gün sizle bu gizemi paylaşmaya karar verebilir. Bir sabah duş alırken gözlerinizdeki köpüğü elinizle şöyle bir sıyırıp karşınızda size gülümseyerek bakan ve kendini tanıtan Benzetimci'yi görebilirsiniz. Ya da bu gizem, çok daha geniş çaplı biçimde, dünyadaki herkese yüksek sesle açıklanabilir; işte yukarıda, gökyüzünde her şeyi programlamaya kâdir olan bir Benzetimci var, denilebilir. Ben-

* Bir başka kaçamak, VII. Bölüm'de sözünü ettiğimiz ölçme sorunundan kaynaklanmaktadır. Eğer gerçek (sanal olmayan) evrenlerin sayısı sonsuzsa (söz gelimi, bir Kapitone Çoklu Evren'in parçasıysak), o zaman bizimki gibi sonsuz sayıda evrenler olacak ve bu evrenlerdeki gelecek kuşakların yaratacağı benzetimler ortaya çıkacak, sınırsız sayıda benzetimli dünyalar meydana gelecektir. Bu benzetimli dünyaların sayısı gerçek dünyaların sayısını fazlasıyla geçse bile, VII. Bölüm'de gördüğümüz gibi, sonsuz sayıları karşılaştırmak kolay bir iş değildir.

zetimciniz daha geri planda kalarak kendini ifşadan kaçınsa bile, size daha dolaylı ipuçları da verebilir.

İçinde bilinçli varlıkların yer aldığı benzetimler aslına uygunluk kıstaslarına belli bir limitin üzerinde uymalıdır ancak tıpkı marka giysiler ve onların ucuz taklitleri gibi, bu benzetimlerin nitelikleri ve tutarlılıkları değişiklik gösterebilir. Örneğin, bir benzetim programlaması yaklaşımı –adına "belirmeci (emergent) strateji" diyelim– o ortamın gereklerini insanın çeşitli alanlardaki bilgi birikimine dayanarak yapılandırabilir. Parçacık hızlandırıcılarındaki proton çarpışmaları kuantum alan kuramına dayanılarak benzetimlenebilir. Fırlattığınız topun aldığı yol, Newton'un yasalarına; bebeğinin ilk adımlarını seyreden bir annenin tepkileri biyokimya, fizyoloji, psikoloji gibi alanların bilgilerine dayanılarak benzetimlenebilir. Siyasilerin görüşleri benzetimlenirken siyaset kuramına, tarihe ve iktisada dayandırılabilir. Benzetimlenmiş gerçekliğin farklı yönlerine odaklanan değişik yaklaşımların bir araya getirilmesi ile ortaya çıkan bu belirmeci stratejinin kendi iç tutarlılığını yakalaması gerekir çünkü bir alandaki süreçler bir diğeriyle çakışabilir. Bir psikiyatrist –neyse ki– işini yaparken beyin işlevleriyle ilgili olarak hücresel, kimyasal, moleküler, atomik ya da atomaltı süreçleri bilmek zorunda değildir. Ancak bir insan benzetimlerken bu belirmeci stratejinin karşılaşacağı güçlük, eldeki yoğun bilgi birikiminin ince ve kaba ayrıntılara göre dağılımını, hangi bilginin hangi bilgiyle bir araya geleceğini planlayabilmektir. Örneğin, duygusal ve bilişsel işlevlerin fizyokimyasal verilerle uyum içinde olması gerekir. Bu tür sınır ötesi iç içe geçme durumları tüm süreçlerde meydana gelmektedir ve bu bilimi hep daha ayrıntılı ve bütünleyici bakış açıları aramaya itmiştir.

Belirmeci stratejileri kullanan benzetimcilerin farklı bilgi birikimlerini bir araya getirirken bunların aralarında uyuşmazlık olmamasını ve ortaya bütüncül, tek bir gerçekliğin çıkmasını sağlamaları gerekecektir. Bunun için gerekli olan ince ayarlar, bu benzetimde yaşayan varlıklara, çevresinde herhangi bir neden ya da açıklama olmaksızın meydana gelen ani, anlaşılmaz değişiklikler gibi görünebilecektir. Bu da düzgün ve bütüncül bir

gerçekliğin yapılandırılamamış olduğu anlamına gelir. Bu düzensizlik ve uyuşmazlıklar çoğalırsa, benzetimli dünya tutarsız bir hale gelip benzetim çökebilir.

Bu türden sorunlara yol açmamak için farklı bir yaklaşım – adı, "aşırı-indirgemeci strateji" olsun– benimsemek yararlı olabilir. Bu yaklaşımda, benzetim bir dizi temel denklemle başlayabilir; tıpkı pek çok fizikçinin gerçek evren konusunda ileri sürdükleri gibi. Bu benzetimler, maddenin temel matematiğinden ve temel kuvvet tanımlarından, evrenin oluşumundaki "ilk durum" (benzetimin başlangıcında her şeyin nasıl olduğu) seçeneklerinden biri ile yola çıkarlar; bilgisayar da belirmeci yaklaşımda görülen türden uyuşmazlıklara yol açmayı engelleyecek bir biçimde çalışarak her şeyi zamanda ileriye taşıyabilir. Ancak bu tür benzetimler tek tek parçacıkların davranışlarının benzetimlenmesine kadar "her şeyi" benzetimlemekten kaynaklanan işlemsel yükün ötesinde kendi işlemleme sorunlarıyla karşı karşıya kalabilirler. Eğer gelecek kuşaklar bizimkiler gibi denklemler kullanacaklarsa –süreklilik arz edecek şekilde değişebilen sayıların yer aldığı denklemler– o zaman benzetimlerde de yaklaşık sayıların kullanılması söz konusu olacaktır. Süreklilik arz edecek şekilde değişen bir sayıyı *kesin* bir biçimde takip edebilmek için değerini sonsuz sayıda ondalıklı basamakla izleyebilmemiz gerekir (örneğin, bir değer 0,9'dan 1'e kadar değişiyorsa, bu değerin 0,9, 0,95, 0,958, 0,9583, 0,95831, 0,958317 ve devamı gibi pek çok sayıdan geçmesi gerekir –hem de sayılarda tam kesinlik için çok sayıda basamak gerektirerek). Sınırlı kapasitede bir bilgisayarın bunu başarabilmesi zordur: Zamanı ve belleği yetişmez. Bu nedenle, *en temel* denklemler kullanılsa bile, bilgisayarın hesaplamalarının yaklaşık olması kaçınılmaz olacak ve zaman içinde hataların doğmasına yol açacaktır.*

* Sonlu bir uzaysal hacim içinde sonlu sayıda ayrı durumlara izin veren bir kuramda bile (örneğin, bir önceki bölümde tartıştığımız entropiye dair sınırlar gibi) matematiksel formalizm hâlâ süreklilik gösteren birimlere ihtiyaç duyabilir. Bu durum, örneğin, kuantum mekaniği için geçerlidir: Olasılık dalgasının değeri, sadece sonlu sayıda farklı sonuçlar mümkün olsa da sürekli olarak değişir.

Elbette burada "hata" ile kastettiğim, benzetim ve bu benzetimin dayandığı fizik kuramları arasındaki uyuşmazlıklardır. Ancak sizin gibi benzetimin içinde yaşayanlar için, bilgisayarı işleten matematik kuralları sizin "doğa yasaları"nız *olacaktır*. O halde konu, bilgisayarın kullandığı matematiksel yasaların dış dünyayı ne ölçüde modellediği değildir; zaten benzetimin içinden sizin bu dış dünyayı göremediğinizi varsayıyoruz. Benzetimli bir evren açısından sorun, bilgisayarın zorunlu olarak yapacağı yaklaşık hesaplamaların net matematik denklemleri bozması ve hesaplamaların kararlılığını yitirmesidir. Çok sayıda hesaplama sonucunda birikerek ortaya çıkacak yuvarlama hataları önemli tutarsızlıkların doğmasına neden olabilir. Siz ya da başka bilim insanları deneylerinde beklenene ters düşen sonuçlarla karşılaşabilecek; önceden geçerli olan yasalar yanlış öngörülere yol açabilecektir. Her zaman herkes tarafından doğrulanmış tek bir sonuç veren ölçümler farklı sonuçlar vermeye başlayacaktır. Daha da ileri gidersek, siz ve sizin benzetimli meslektaşlarınız, ellerindeki yeni delillere bakıp aynen sizden önceki yüzyıllarda bilim insanlarının söylemiş olduğu gibi, elinizdeki son kuramın artık geçerli son kuram olmadığını söyleyecektir. Kuramı baştan gözden geçirip yeni fikirler, denklemler ya da ilkeler ortaya sürerek verileri daha doğru olduğuna inandığınız biçimde çözümlemeye girişebilirsiniz. Ancak, yanlışlıkların programı çökertecek kadar çelişki yaratmadığı varsayılsa da bir noktada duvara toslayabilirsiniz.

Ortaya koyulan tüm açıklamaları inceledikten sonra, hiçbirinin yeterince açıklayıcı olmadığını düşünen bir ikonakırıcı tamamen farklı bir görüş öne sürebilir. Yüzyıllar boyunca fizikçilerin geliştirdiği yasalar güçlü dijital bir bilgisayar tarafından benzetimli bir evren için kullanıldığında, yaklaşık hesaplamalarla biriken hatalar gözlemleyebileceğimiz anormalliklere yol açabilecektir. "Bir bilgisayar benzetiminde yaşadığımızı mı söylüyorsunuz?" diye soracaksınız. "Evet" diye yanıtlayacak meslektaşınız. "Hadi canım, saçmalık bu," diyeceksiniz. "Sahi mi?" diyecek arkadaşınız, "O halde, dur bir bak". Sonra bir monitör çıkartıp size fiziğin aynı temel yasalarına göre programlanmış benzetimli

bir dünya gösterecek ve siz –benzetimli bir dünyayı izlemekten doğan şaşkınlıktan sonra nefesinizi tutarak– aynı sizin kafanızı yoran soruna benzer bir sorun üzerinde çalışmakta olan bir grup benzetimli araştırmacıyı göreceksiniz.[6]

Kendini geri planda tutup göstermemeyi tercih eden bir Benzetimci çok daha kararlı yöntemler kullanabilir. Uyumsuzluklar baş gösterince, Benzetimci programı sıfırlayıp yaşayanların belleklerinden uyumsuzluklara dair bilgileri tamamen silebilir. Bu durumda, benzetimli bir gerçekliğin bu tür küçük teknik aksaklıklar ve düzensizliklerle gerçek doğasını açığa çıkaracağını iddia etmenin doğru olmadığı görülür. Düzensizlikler, uyumsuzluklar, yanıt bulamayan sorular, yol alamayan ilerlemeler bizlerin bilimsel başarısızlıkları olarak sürer. Tüm bu delillerden yola çıkarak söylenebilecek şey, biz bilim insanlarının çok çalışıp, yaratıcı yeni açıklamalar bulmamız gerektiğidir. Ancak, anlattığım bu hayal ürünü senaryodan çıkartılacak önemli bir sonuç bulunmaktadır. Görünürde bilinçli olan varlıklarla dolu benzetimli dünyalar yarattığımız zaman, şu önemli soru sorulabilir: Bilimsel ve teknolojik gelişmeler tarihi içinde böyle bir bilinçli benzetimi gerçekleştiren ilk kişiler olduğumuzu düşünmek mantıklı mıdır? Olabilir –ancak, daha büyük senaryoların içinde, belki de ilk kişiler olmamızı gerektirmeyen açıklamaları göz önüne almamız gerekir. Amacımıza uygun bir açıklama da elimizde var. Bilinçli varlıkların yer aldığı benzetimlerin mümkün olabileceğini kabul edersek, VII. Bölüm'de ele aldığımız sıradanlık ilkesi gereği, sadece bir tek benzetim değil, Benzetimli Çoklu Evren'leri oluşturan sayısız benzetimler olduğu düşünülebilir. Kendi yaratacağımız benzetimli evren, erişimimiz dâhilindeki kendi sınırlarımız içinde bir sanat eseri olsa bile, geniş bir Benzetimli Çoklu Evren içinde daha önce belki binlercesi benzetimlenmiş evrenlerden herhangi bir ayrıcalığı bulunmayacaktır. Bu düşünceyi kabul edersek, kendimizin de Benzetimli Çoklu Evren içindeki diğer bilinçli varlıklar gibi, benzetimlerden biri içinde olduğumuzu düşünmemiz gerekir.

Yapay bir bilincin ve benzetimli dünyaların varlığına yönelik elde edilebilecek deliller kendi gerçekliğimizin doğasını yeniden değerlendirmemizi sağlayacaktır.

Üniversite öğrenciliğimin ilk yarıyılında, merhum Robert Nozick'ten felsefeye giriş dersi almıştım. Daha ilk dersten itibaren beni müthiş etkilemişti. Nozick o sıralar *Philosophical Explanations* (Felsefi Açıklamalar) kitabını tamamlamak üzereydi. Dersinde, kitabında ele aldığı temel konuları tartışarak yazma öncesi bir tür prova yapardı. Her dersi dünyaya bakışımı önemli ölçüde etkiler, hatta bazen derinden sarsardı. Bu, benim beklemediğim bir deneyimdi. Var olan gerçekliği altüst edebilecek her şeyi fizik derslerinde öğrenebileceğimi sanırdım. Oysa iki alan arasında önemli bir fark vardı. Fizik dersleri beni hiç bilinmeyen âlemlere götürüyordu; bu âlemlerde şeyler hızlı, aşırı derecede ağır ya da olağanüstü küçüktü. Fizik beni bu âlemlerde meydana gelen garip olgularla tanıştırarak kabul gören görüşlere meydan okuyordu. Felsefe dersleri ise *gündelik* deneyimlerimizin temellerini sorgulamayı öğreterek bu kabul gören görüşleri yerle bir ediyordu. Yaşadığımız gerçekliğin gerçek olduğunu nereden biliyoruz? Algılarımıza güvenmeli miyiz? Geçen zaman içinde, kişilik özelliklerimizi değişmeden tutarak moleküllerimiz ve atomlarımız arasındaki bağı sağlayan nedir?

Bir gün ders çıkışı gezinirken, Nozick bana ilgi alanlarımı sormuştu. Gayet yüzsüzce kuantum kütleçekimi ve birleşik kuramlar üzerine çalışmak istediğimden söz etmiştim. Böylesi bir yanıtın genellikle diyaloğu sonlandırması beklenir. Fakat Nozick için bu yanıt genç bir beyni yeni bir bakış açısını gözleri önüne sererek eğitme fırsat sunmuştu. "İlgini bu yöne çeken şey nedir?" diye sordu. Şeylerin neden oldukları gibi olduklarını anlamamızı kolaylaştıracak mutlak hakikatleri bulmak istediğimi söyledim. Hem de kendimden emin ve ukala bir biçimde. Nozick beni kibarca dinledikten sonra "Diyelim ki birleşik kuramı buldun," dedi, "bu senin aradığın yanıtları gerçekten verebilecek mi?" "Neden başka bir kuramın değil de bu kuramın evreni en doğru açıklayan kuram olduğunu sormayacak mısın?" Haklıydı. Ancak şöyle cevap verdim: Bir açıklama ararken öyle bir noktaya gelinir ki o noktada belirli şeyleri doğru olarak kabul etmeniz

gerekir. Nozick'in beni getirmek istediği nokta buydu; *Philosophical Explanations*'ta bu görüşe alternatif bir bakış açısı geliştirmişti. Bu bakış açısı verimlilik ilkesi adını verdiği ilkeye dayanıyordu ve açıklamaları şekillendirirken "bazı şeyleri verili kabul etmeme" ve Nozick'in ifade ettiği gibi hiçbir şeyi kesin doğru olarak kabul etmemeye yönelik bir çabaydı.

Bu ifadenin arkasındaki felsefi manevra açıktı: Soruyu etkisiz hale getir. Belli bir kuramın bir diğerine göre neden daha üstün olduğunu açıklamaktan kaçınıyorsan, o zaman o kuramın üstün olduğunu iddia etme. Nozick, içinde *mümkün olan her evrenin* bulunduğu bir çoklu evrenin parçası olduğumuzu düşünüyordu.[7] Bu çoklu evren Kuantum Çoklu Evreni, Şişme Evreli Çoklu Evren'in baloncuk evrenleri, sicim kuramından çıkan Zar Evrenler ya da Manzara Çoklu Evreni gibi olası evrenler de olsa, sonuçta bu evrenler tek başlarına Nozick'in önerisini karşılamayacaklardı. Çünkü hâlâ merak içinde olacaktınız: Neden kuantum mekaniği? Neden şişmeye dayalı bakış açısı? Ya da neden sicim kuramı? Bunun yerine, *herhangi* bir evren tipini ele aldığınızda –ister bildiğimiz atomlardan ister erimiş mozzarella peynirinden meydan gelmiş olsun– Nozick'in şemasında onun da yeri vardı.

Şimdi ele alacağımız son çoklu evren, hepsinden daha kapsamlı bir çoklu evrendir, olabilecek en kapsamlısı. Şimdiye kadar önerilmiş ya da önerilebilecek hangi çoklu evren tipi olursa olsun, *Sonbiçim Çoklu Evren* olarak adlandıracağımız bu üstün modelin içine girecektir. Bu çerçevede, kendi evrenimizin neden araştırmalarımızın ortaya çıkardığı yasalarla yönetildiğini soracak olursanız, yanıt insan temelli ilkeyi andırır: Tamam, başka birçok evren var, tüm olası evrenler var ama biz içinde bulunduğumuz evrende yaşıyoruz. Çünkü evrenimiz bize yaşam olanağı sağlayan evrenlerden bir tanesi. Yaşayabileceğimiz başka evrenlerde de –fiziğin temel parametrelerinde küçük değişiklikler olsa da yaşayabileceğimiz çok sayıda evrende– bizim gibi insanlar aynı soruyu soruyor olabilir. Bize verilecek yanıtlar, onların soruları için de aynen geçerlidir. Sadece var olmak, herhangi bir evrene özel bir statü kazandırmaz, çünkü Sonbiçim Çoklu

Evren modelinde tüm olası evrenler *var olmaktadır.* Neden birtakım yasaların gerçek olan evreni –bizimkini– tanımladığı ama diğerlerinin tanımlamadığı sorusu da bu durumda anlamını yitirir. Sadece belli bir evren için geçerli yasalar yoktur. Bütün yasalar gerçek olan tüm evrenler için geçerlidir.

İlginçtir ki Nozick, kendi çoklu evren modelinde içinde hiçbir şey bulunmayan bir evrenin de olabileceğini söyler. Kesinlikle hiçbir şeyin. Hiçbir şey derken boş bir uzayı kastetmiyorum; Gottfried Leibniz'in meşhur sorusu gibi, "Neden bir şey var da hiçbir şey yok?" diye soruyorum. Nozick'in bileceğinden değil ama bu soru bana geçmişten bir şeyler çağrıştırıyor. On veya on bir yaşımdayken, Leibniz'in bu sorusuyla karşılaşmış ve soruyu son derece karmaşık bulmuştum. Hiçliğin ne anlama gelebileceği üzerinde düşünürken elim başımın arkasına dayalı, odamın içinde dönüp dururdum, mümkün olmayan bir şeyi yapmaya –elimi görmeye– çalışmanın belki de benim tam yokluğu kavramama yarayacağını sanarak. Şimdi bile mutlak gerçek bir hiçlik üzerine düşünmek içimi burkar. Bildiğimiz "bir şeylikten" tam bir "hiçliğe" gitmek en büyük kayıp olsa gerek. Ancak hiçlik bir şeylikten daha yalın olacağı için –ne işleyen yasalar, ne oynanacak madde, ne yaşanacak bir uzay, ne bir zaman– Leibniz'in sorusu aslında birçok kişi için tam yerinde bir soru. *Neden hiçlik yok?* Şüphesiz ki hiçlik çok daha zarif olurdu.

Sonbiçim Çoklu Evren'de hiçliğin var olduğu bir evren vardır. Bildiğimiz kadarıyla, hiçlik son derece mantıklı gelen bir olasılıktır; dolayısıyla tüm evren tiplerini içeren bir çoklu evren modelinde yer almalıdır. Nozick, Leibniz'in sorusuna şöyle bir yanıt vermektedir: Sonbiçim Çoklu Evren'de "bir şey" ile "hiçbir şey" arasında açıklanması gereken bir dengesizlik söz konusu değildir. Her iki tür evren de bu çoklu evrenin parçalarıdır. Bir hiçbir şey evreninin üzerinde düşünülecek fazla bir şey yoktur. Biz insanlar bir şeyler olduğumuz için hiçbir şey evreni bizi zaten kendi dışında bırakır.

Matematik diliyle konuşabilen bir kuramcı için, Nozick'in her şeyi kapsayan çoklu evren modeli, tüm matematik denklemlerin

fiziksel olarak gerçekleşebildiği bir anlayıştır. Tıpkı Jorge Luis Borges'in "Babil Kitaplığı" öyküsünde olduğu gibi. Öykünün bu bağlamdaki uyarlamasında, Babil'deki tüm kitaplar matematiksel bir dille yazılmakta, bu nedenle de anlamlı, kendi içinde son derece tutarlı bir matematiksel semboller dizgisi içermektedir.* Bazı kitaplarda, örneğin genel görelilik ya da kuantum mekaniği denklemleri gibi doğanın bilindik parçacıklarına ilişkin, bildiğimiz denklemler yer almaktadır. Ancak bu tür bilindik matematiksel karakter dizgileri son derece azdır. Çoğu kitapta daha önce hiç yazılmamış, tamamen soyut kabul edilebilecek denklemler bulunmaktadır. İşte Sonbiçim Çoklu Evren düşüncesi bu alışılmış bakış açısını değiştirmektedir. Artık denklemler, içlerinden sadece şanslı birkaçının fiziksel olarak somutlanıp yaşamla bağ kurduğu gibi değillerdir. Aksine, Matematiksel Babil Kitaplığı'nda her evren *gerçektir*.

Nozick'in düşüncesinin bu matematiksel çerçeveye oturtulmuş hali, üzerinde uzun boylu tartışılmış bir soruya da somut bir yanıt vermektedir. Yüzyıllar boyunca, matematikçiler ve felsefeciler, matematiğin gerçekten var olup keşfedildiğini mi yoksa icat mı edildiğini anlamaya çalıştılar. Matematiksel kavramlar ve gerçekler bizim dışımızda zaten vardı da gözü pek kâşifler mi onları keşfetti? Yoksa bu kâşiflerin büyük olasılıkla masa başında ellerine bir kalem alıp çılgınca esrarengiz bir sürü sembolü karaladıklarını göz önünde bulundurursak, o zaman ortaya çıkan matematiksel kavramlar ve hakikatler zihnin düzen ve örüntü arayışının bir parçası olarak icat mı edildi?

Her şeyden önce, pek çok matematiksel kavrayışın fiziksel olgularla ilgili bir uygulama bulması, matematiğin gerçek olduğuna dair ikna edici kanıtlar göstermektedir. Çok sayıda örnek verilebilir. Genel görelilikten kuantum mekaniğine, fizikçiler çeşitli matematiksel buluşların fiziksel uygulamalara son derece uyum gösterdiğini görmüşlerdir. Paul Dirac'ın pozitronla (elektronun anti-parçacığı) ilgili öngörüsü basit ancak etkileyici bir örnek-

* Borges öyküsünde, anlama bağlı kalmaksızın tüm kitaplar için bütün mümkün karakter dizgilerine yer vermektedir.

tir. 1931'de elektronların hareketleriyle ilgili kuantum denklemlerini çözdükten sonra, Dirac matematiğin "fazladan" bir çözüm öne sürdüğünü fark etti –aynen elektrona benzeyen ancak pozitif elektrik yükü taşıyan (elektronun yükü negatiftir.) bir parçacığın hareketini açıklayan bir çözümdü bu. 1932'de, uzaydan Dünya'yı bombardıman eden kozmik ışınların incelenmesi sırasında, Carl Anderson bu parçacığı keşfetti. Dirac'ın kâğıt üstünde matematiksel sembollerle çalışarak fark ettiği şey, laboratuvarda ilk anti-madde örneği olarak deneysel yolla keşfedilmişti.

Yine de matematiğin insan icadı olduğunu düşünenler çıkacaktır. Biz insanlar çevremizdeki olgularda örüntüler bulacak şekilde evrimleştik. Bunu ne kadar iyi yaparsak, bir sonraki yemeğimizi nasıl bulacağımızı daha iyi kestirebilecektik. Bir düzen dili olan matematik, bizim böylesi bir biyolojik eğilimimizden doğmuş olabilir. Bu dille yeni sistematik örüntüler oluşturup hayatta kalabilmek için gerekli olanın ötesine de geçmiş olabiliriz. Ancak, matematik, çağlar boyu geliştirip kullandığımız pek çok şey gibi, bir insan icadı da olabilir.

Matematikle ilgili düşüncelerim belli aralıklarla değişir. Ne zaman yolunda giden bir matematiksel çalışma yapsam, matematiğin bir icat değil, keşif olduğu duygusuna kapılırım. Bir matematiksel bulmacanın tek tek parçalarını bir araya getirip bütüncül bir resim oluşturduğum anlardan daha keyifli başka bir an bilmem. Bunu başardığınız zaman, sanırsınız ki o resim, sanki bir sisin arkasında saklanan manzara gibi, orada hep vardı, siz bulup ortaya çıkarttınız. Ancak matematiğe daha nesnel yaklaşarak çalıştığım zaman bakış açım farklılaşır. Matematik bilgisini, insanların alışılmadık şekilde kesinlik taşıyan matematik diliyle iletişim kurdukları bir sürecin yazınsal bir çıktısı gibi görürüm. Doğal dillerle yazılan yazınsal eserlerde olduğu gibi, matematiksel yazın da insanın beceri ve yaratıcılığının bir ürünüdür. Diğer akıl sahibi yaşam biçimlerinin bizim bulduğumuz matematiksel sonuçları bulamayacakları gibi bir şey söylemiyorum; pekâlâ da bulmuş olabilirler. Ama bu bizimkilere benzer matematik gerektiren deneyimlerin (sayı sayma, ticaret işleri, araştırma yapma vb.) bir

yansıması olmuş olabilir. Bu nedenle, matematiğin her şeyin üstünde var olduğuna dair önemli bir kanıt oluşturmaz.

Birkaç yıl önce bu konuda yaptığım bir konuşmada şöyle bir örnek vermiştim: Gözümde bir uzaylılarla karşılaşma anı canlandırıyorum ve uzaylılar bizim bilimsel kuramlarımızı inceleyip "Haa, matematik mi? Bir süre denedik. İlk başta işe yarar gibi geldi ama çıkmaz bir sokaktı. Bakın, size gerçekte nasıl işlediğini gösterelim," diyorlar. Ancak bu sözün devamında uzaylılar neler derdi, bilemiyorum. Matematiğin çok geniş bir tanımı (bir dizi varsayımdan yola çıkarak yapılan mantıksal çıkarımlar gibi) olduğuna göre ne tür yanıtların matematik anlamına *gelmeyeceğini* bile bilemiyorum.

Sonbiçim Çoklu Evren bu konuda son derece nettir. Tüm matematik, gerçek evreni tanımladığı için gerçektir. Çoklu evrenin her yerinde matematik hakkıyla işler. Newton'un denklemleriyle açıklanan ve yalnızca fazladan hiçbir içsel yapıya sahip olmayan bilardo toplarının bulunduğu bir evren de Einstein denklemlerinin yüksek boyutlu versiyonu ile yönetilen 666 uzay boyutlu boş bir evren de gerçektir. Hani, uzaylılar haklı ise, tanımı matematiğin ötesine geçen evrenler de bu modelde yer bulabilir. Ama bu olasılığı bir kenara bırakalım. Tüm matematik denklemlerinin gerçekleşebildiği bir çoklu evren bizi meşgul etmeye yeterlidir. Sonbiçim Çoklu Evren de bunu sağlar.

Çoklu Evrenleri Ussallaştırmak

Sonbiçim Çoklu Evren'in diğer paralel evren önerilerinden ayrıldığı nokta, bu anlayışın bakış açısıdır. Daha önceki bölümlerde ele aldığımız çoklu evren kuramlarının bir sorunu çözmek ya da bir soruya yanıt bulmak gibi bir amaçları yoktu. Bazılarının bu yönde iddiaları olsa da hiçbiri baştan böyle bir amaçla ortaya çıkmadı. Gördüğümüz gibi, bazı kuramcılar Kuantum Çoklu Evreni'nin kuantum ölçme sorununu çözdüğünü söylerken, bazıları Döngüsel Çoklu Evren modelinin zamanın başlangıcı sorusunu yanıtlamaya çalıştığını ifade eder. Bazılarına göre, Zar Çoklu Evreni kütleçekimi kuvvetinin diğer kuvvetlerden neden daha

zayıf olduğunu açıklığa kavuşturur; bazılarına göre de Manzara Çoklu Evreni kara enerjinin gözlenen değerini anlamamızı sağlar. Bazı kuramcılara göre, Holografik Çoklu Evren ağır atom çekirdeklerinin çarpışmasından doğan verileri açıklar. Ancak tüm bu uygulamalar ikinci plandadır. Kuanturn mekaniği mikro âlemi tanımlamak için geliştirilmiştir. Şişme kozmolojisinin ortaya çıkış amacı kozmosun gözlenen özelliklerini anlamaktır. Sicim kuramı ise kuantum mekaniği ile genel görelilik arasında bir köprü sağlamak için geliştirilmiştir. Bu kuramların çeşitli çoklu evrenleri işaret etmeleri bir yan ürün olarak düşünülmelidir.

Oysa Sonbiçim Çoklu Evren tamamen bir çoklu evren düşüncesi üzerine kurulmuştur. Tek bir amaç güder: Evrenimizin neden farklı yasalara göre değil de belli birtakım matematik yasalara göre işlediğine bir açıklama getirme işini yapılacaklar listemizden çıkarmak. Bunun için de bir çoklu evren modeli sunar. Bu tek amaca hizmet etmek için ortaya atılmış Sonbiçim Çoklu Evren modelinin, daha önceki bölümlerde anlattığımız çoklu evren modelleri gibi ayrı bir gerekçesi yoktur.

Bu benim kendi görüşüm ama herkes katılmıyor bu görüşe. Fizikçilerin matematikle fizik arasında sanal bir ikileme saplandıklarını söyleyen (*yapısal gerçekçi* düşünce ekolüne dayanan) felsefi bir görüş vardır. Kuramsal fizikçiler matematiğin fiziksel gerçekliği tanımlamada nicel bir dil sağladığını söylerler; ben de bu kitabın hemen her sayfasında buna yönelik şeyler söyledim. Fakat bu felsefi görüşün öne sürdüğüne göre, belki de matematik gerçekliğin tanımlanmasından daha öte bir şeydir. Belki matematik gerçekliğin ta kendisidir.

Bu oldukça sıra dışı bir görüş gibi gelebilir. Somut gerçekliğin dokunulamayan matematik üzerine yapılanmış olması düşüncesine pek alışkın değiliz. Bir önceki bölümde ele aldığımız benzetimli evrenler bu konuda düşünmemizi sağlayan somut ve anlaşılır örneklerdi. Samuel Johnson'ın Rahip Berkeley'in savına verdiği ünlü tepkiyi bir hatırlayalım. Rahip Berkeley, maddenin bulunmadığını, madde denilen şeyin aslında bireyin zihnindeki bir imgelem olduğunu söyleyince, Dr. Johnson da kocaman bir

taşı tekmeleyip "Ben onu işte böyle çürütürüm" demişti. Şimdi şöyle bir hayal edip, Dr. Johnson bilmese de, onun taşı tekmelemesinin yüksek nitelikli bir bilgisayar benzetiminde yaratıldığını düşünelim. Bu benzetimli dünyada, Dr. Johnson'ın taşı tekmelemesi aynen tarihte yer aldığı hali kadar inandırıcı bir biçimde gerçekleşir. Buna rağmen, bilgisayar benzetimi, bilgisayarın belli bir andaki durumunu –bitlerin karmaşık bir düzenlenmesini– alan ve önceden belirlenmiş matematiksel kurallara göre bu bitleri birbirini takip eden düzenlemeler vasıtasıyla eviren bir dizi matematiksel işlemden başka bir şey değildir.

Bu da şu anlama gelmektedir: Dr. Johnson'ın bilgisayar benzetimindeki matematiksel dönüşümleri inceleyecek olsaydınız, Johnson'ın tekmesinin, ayağının geriye hareketinin, aynı zamanda aklındaki düşüncelerin ve "Ben onu işte böyle çürütürüm" deyişinin ayrı ayrı denklemlerle ifade edilmiş olduğunu görürdünüz. Bilgisayarın işleyişini monitörden (ya da gelecekteki bir benzeriyle) izleyebilseniz, Dr. Johnson'ın ve attığı tekmenin, bitlerin bir dans koreografisi gibi matematiksel olarak düzenli biçimde işleyişiyle ortaya çıktığını anlardınız. Görüntüler ne kadar etkileyici olursa olsun, hepsinin temelinde var olan en önemli etkenin ne olduğunu unutmayın: Matematik. Matematiksel kuralları değiştirdiğinizde, bitlerin dansı da değişecek ve görünenden tamamen farklı bir gerçeklik ortaya çıkacaktır.

Peki, her şey bu kadar mı? Matematik ve Dr. Johnson'ın gerçekliği arasındaki ilişkiyi örneklemek için Dr. Johnson'ı bir benzetim içine yerleştirdim. Ancak burada çok daha önemli bir nokta var: Bilgisayar benzetimi, sadece somut bir dünya gerçekliğiyle soyut matematiksel denklemler arasında aracı bir adım. Matematiğin kendisi –yarattığı ilişkiler, kurduğu bağlantılar ve sağladığı dönüşümlerle– Dr. Johnson'ı, hareketlerini ve de düşüncelerini kapsıyor. Ne bir bilgisayara ne de dans eden bitlere ihtiyacınız var. *Dr. Johnson matematiğin kendisinin* içinde.[8]

Şimdi durup matematiğin, kendine ait içsel yapısı yoluyla, gerçekliğin herhangi bir yönünü veya tüm yönlerini –bilinçli bir

zihni, kocaman bir taşı, hırsla atılan bir tekmeyi, acıyan ayak parmağını– somut hale getirebileceğini düşünürseniz, *gerçekliğimizin* matematiksel bir gerçeklikten başka bir şey olmadığı sonucuna varırsınız. Bu biçimde düşününce, farkında olduğunuz her şey –elinizdeki kitabı tutuşunuz, şu an aklınızdan geçenler, akşam yemeği için yaptığınız planlar– birer matematik deneyimidir. Gerçeklik, matematiğin nasıl hissettiğine bağlıdır.

Böyle bir bakış açısı, kuşkusuz, herkesin kolayca kabul edebileceği bir bakış açısı değildir; kendi adıma belirtmem gerekirse, benim bakış açımın da bu yönde olduğunu söyleyemem. Ancak, bu bakış açısını paylaşanlar matematiği yalnızca "orada bir yerlerde" gibi görmeyip, "oradaki tek şey" olarak görmektedirler. Matematik ister Newton'un, ister Einstein'ın, isterse diğerlerinin denklemleri biçiminde olsun, ancak fiziksel varlıklar onu somutladığı zaman gerçektir, diyemeyiz. Matematik –tüm matematik– zaten gerçektir; somut kanıta ihtiyaç duymaz. Her farklı matematiksel denklemler bütünü farklı bir evrendir. Sonbiçim Çoklu Evren anlayışı işte böyle bir matematik yaklaşımının ürünüdür.

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü mensubu olan ve Matematiksel Evren Hipotezi olarak adlandırdığı Sonbiçim Çoklu Evren düşüncesini güçlü bir biçimde destekleyen Max Tegmark benzer bir düşünceyle görüşünü şöyle gerekçelendirmektedir: Evrenin doğru tanımlanması için anlamı insan deneyimlerine ve yorumlarına dayanan kavramlar gerekli değildir. Gerçeklik bizim varoluşumuzu aşan, bu nedenle de bizim fikirlerimiz üzerine yapılanmaması gereken bir şeydir. Tegmark'ın görüşüne göre matematik, –soyut nesne kümeleri (tamsayılar gibi) üzerine etkiyen ve bu kümeler arasında çeşitli ilişkilere yol açan (1 + 2 = 3 gibi) işlemler dizisi (toplama gibi) olarak– olguları, insan düşüncesiyle ortaya çıkabilen farklı anlamlara yer vermeden, kesin biçimde açıklayabilen bir dildir. Peki, o zaman matematiği, tanımladığı evrenden ayırt eden şey nedir? Tegmark'a göre, yanıt, hiçbir şeydir. Eğer matematiği evrenin kendisinden ayırt edecek bir şey olsaydı, bunun matematiksel olmayan bir şey olması gerekirdi; aksi takdirde eninde sonunda matematiksel bir tanımlama içi-

ne girer ve ayrım ortadan kalkardı. Ne var ki bu düşünceye göre, eğer bu özellik matematiksel değilse, insan düşüncesinin izlerini taşıyor olması gerekir ki o zaman da temel bir özellik olamaz. Bu nedenle, gerçekliğin matematiksel olarak tanımlanması ile gerçekliğin fiziksel görünümü arasında bir ayırım söz konusu olamaz. Her ikisi de aynıdır. Matematiği devreye sokacak bir "açma" düğmesi yoktur. Matematiksel varoluşla fiziksel varoluş birbirine eştir. Bunun tüm matematiksel süreçler için geçerli olması bizi yine Sonbiçim Çoklu Evren anlayışına götürmektedir.

Öne sürülen tüm bu görüşler, insanı üzerlerinde derin derin düşünmeye sevk eden bir merak uyandırsa da ben yine de biraz şüpheliyim. Belli bir çoklu evren düşüncesini değerlendirirken, o çoklu evrenin hayal edebileceğimiz bir süreç olması –dalgalanan bir inflaton alanı, zar dünyalar arası çarpışmalar, sicim kuramı manzarası içinde kuantum tünellemesi, Schrödinger denklemi aracılığıyla bir dalganın gelişmesi– hoşuma gider. Bir çoklu evrenin açıklanmasına, ilkesel olarak bile olsa, bir olaylar dizisini düşünerek odaklanırım. Konu Sonbiçim Çoklu Evren olunca, bu sürecin nasıl gerçekleşebileceğini hayal etmek zordur; süreçte farklı alanlar için farklı matematiksel yasalar gerekmektedir. Şişme Evreli Çoklu Evren ve Manzara Çoklu Evreni modellerinde, fizik yasalarının evrenden evrene nasıl farklı biçimlerde işlediğini gördük. Bunun nedeni, belli Higgs alanı değerleri ya da ekstra boyutların biçimleri gibi çevresel farklılıklardır. Bütün evrenlerde işleyen matematiksel denklemler aynıdır. O zaman, belli bir dizi matematik yasası içinde işleyen ne gibi bir süreç bu matematik yasalarını değiştirebilmektedir? Beş sayısının umutsuzca altı olmaya çalışması gibi, düpedüz imkânsız görünmektedir bu.

Ancak böyle bir sonuca varmadan önce şuna bakalım: Farklı matematik yasaları tarafından yönetiliyormuş gibi *gözüken* alanlar olabilir. Tekrar benzetimli dünyaları düşünün. Yukarıda Dr. Johnson örneğini verirken, bilgisayar benzetimini matematiğin nasıl deneyimlerimizin özünü oluşturduğunu göstermek için kullanmıştım. Ancak, tıpkı Benzetimli Çoklu Evren modelinde olduğu gibi, bu tür benzetimleri kendi içinde değerlendirdiğimiz za-

man tam da bize gereken süreci görürüz: Her ne kadar benzetimin gerçekleştiği bilgisayar donanımı bildiğimiz fizik yasalarına bağlı olsa da benzetimli gerçekliğin kendisi, kullanıcının seçtiği matematik denklemlerine bağlıdır. Bu matematik yasaları benzetimden benzetime değişebilir ve genellikle de değişecektir.

Şimdi göreceğimiz gibi, bu durum, Sonbiçim Çoklu Evren'in belirli ayrıcalıklı bir kısmını oluşturmak için bir mekanizma sağlamaktadır.

Babil'i Benzetimlemek

Daha önce söylediğim gibi, bilgisayar benzetimleri fizikte kullandığımız denklemler için yaklaşık matematik hesaplamaları ortaya koymaktadır. Bu durum, sürekli sayıların dijital bir bilgisayarda kullanılması durumunda daha iyi görülebilir. Örneğin, klasik fizikte (klasik fizikte yaptığımız üzere, uzay zamanın sürekli olduğunu varsayarsak) fırlattığınız bir topun bir yerden diğerine giderken sayısız farklı noktalardan geçtiğini söyleriz.[9] Topun bu süreçte aldığı sonsuz konumlarla, bu konumlardaki olası sonsuz hızların takibini yapmak her zaman için erişimimiz dışında kalacaktır. En iyi durumda, bilgisayarlar, oldukça ayrıntılı ancak yaklaşık hesaplamalar yaparak, topun izlediği yolu santimetrenin milyonda, milyarda, hatta trilyonda biri ölçeğinde saptayabilirler. Bu gibi bir hesaplama pek çok amaç için işe yarasa da yine de bir yaklaşıklıktır. Kuantum mekaniği ve kuantum alan kuramı kesikliliğin çeşitli türlerini ileri sürerek, hesaplamada yardımcı olabilirler. Ancak her ikisinde de süreklilik arz ederek değişen sayılar (olasılık dalgalarının değeri, alan değerleri, vb.) yaygın biçimde kullanılır. Aynı durum fiziğin diğer tüm standart denklemleri için de geçerlidir. Bilgisayarlar matematiği yaklaşık bir hesaplamaya bağlayabilir, ancak denklemleri tam olarak benzetimleyemezler.*

Bilgisayar benzetimlerinin kesinlikle doğru olabileceği matematik fonksiyonlar da vardır. Bunlar *hesaplanabilir fonksiyon-*

* Kapitone Çoklu Evren'i tartışırken (II. Bölüm), kuantum fiziğine göre, uzayın sonlu bir bölgesinde maddenin kendini düzenleyebileceği sonlu sayıda farklı yollar olduğunu

lar olarak adlandırılan gruptandır. Bu fonksiyonların değerleri, sonlu sayıda ayrık komutlarla işleyen bir bilgisayar tarafından bulunabilir. Bilgisayar, tekrar tekrar aynı adımları kullanacak, ancak eninde sonunda doğru sonuca ulaşacaktır. Adımların herhangi birinde bir yeniliğe ihtiyaç yoktur; olay sadece çarkları çevirmekle ilgilidir. Örneğin, fırlatılan bir topun hareketini benzetimlemek için bilgisayarlar lisedeyken öğrendiğiniz fizik yasalarının *hesaplanabilir yaklaştırmaları* olan denklemlerle programlanırlar (Sürekli olan uzay ve zaman, bilgisayarda ufak aralıklı ızgaralarla yaklaşık olarak saptanır.).

Tersini düşünürsek, bir bilgisayarın hızı ya da bellek kapasitesi ne kadar yüksek olursa olsun, hesaplanamayan bir fonksiyona ait bir değer bulmaya çalışırsa, bir sonuca ulaşmadan çarkları sonsuza kadar çevirip duracaktır. Fırlatılan bir topun yörüngesini tam tamına hesaplamaya çalışan bir bilgisayar için de böyle olacaktır. Daha nicel bir örnek düşünelim: Bilgisayarda, benzetimli bir evrenin kendine yemek pişirmeyen tüm benzetimli canlıları için –ve sadece benzetimli canlılar için– nefis yemekler hazırlayan hamarat bir aşçı programlanmış olsun. Aşçı kekler, kurabiyeler pişirdikçe; kızartmalar, haşlamalar yaptıkça, kendi iştahı da açılmaktadır. Soru şudur: Bilgisayar aşçıyı doyurması için kimi görevlendirmiştir?[10] Bunu düşünün ve düşündükçe yüreğiniz sızlayacak. Aşçı, *yalnız ve yalnızca* kendine yemek pişirmeyenler için yemek pişirmeye programlandığı için kendisine yemek pişiremez; ancak kendine yemek pişiremezse, o zaman kendilerine yemek pişirmeye programlandığı insanlardan birisi haline gelir. Merak etmeyin, bilgisayarın beyni de bu noktada sizinkinden daha iyi çalışmayacaktır. Hesaplanamayan fonksiyonlar da aynı bu örnek gibidir: Bilgisayarın hesaplama kapasitesini alt edip bilgisayarın yürütmekte olduğu benzetimi sekteye uğratırlar. Bu nedenle, Sonbiçim Çoklu Evren'i oluşturan evrenler hesaplanabilir fonksiyonlara dayanmalıdır.

vurgulamıştım. Bununla birlikte, kuantum mekaniğinin matematiği süreklilik gösteren özellikler de barındırır ve bu nedenle bu özellikler sonsuz sayıda değer alabilir. Bu özellikler doğrudan gözlemleyebileceğimiz özellikler değildir (belli bir noktadaki olasılık dalgasının yüksekliği gibi); ölçümlerin göstereceği ayrı ayrı sonuçlar söz konusu olduğunda, sonlu sayıda olasılık vardır.

Bu noktada Benzetimli Çoklu Evren ile Sonbiçim Çoklu Evren arasında bir örtüşme doğmaktadır. Sonbiçim Çoklu Evren'in sınırlı bir çeşidine bakıp yalnızca hesaplanabilir fonksiyonlardan ortaya çıkan evrenlerini ele alalım. O zaman, belli bir soruya – Neden bu evren gerçek de diğerleri değil?– yanıt aramak yerine, Sonbiçim Çoklu Evren'i bir sürecin sonucu olarak görebiliriz. Bugünün Second Life tutkunlarından belki de pek farklı olmayacak olan gelecekteki bilgisayar kullanıcıları, bu çoklu evreni farklı denklemleri devreye sokarak çeşitlendirebileceklerdir. Bu geleceğin bilgisayar kullanıcıları Matematiksel Babil Kitaplığı'ndaki bütün evrenleri yaratamayacaklardır çünkü hesaplanamaz fonksiyonlara dayalı olanlar için bu mümkün olmayacaktır. Ancak, hesaplanabilir fonksiyonlara dayalı olanlar üzerinde aralıksız olarak çalışmayı başarabileceklerdir.

Bilgisayar bilimcisi Jürgen Schmidhuber, Zuse'nin fikirlerini geliştirerek farklı bir yolla aynı sonuca ulaşmıştır. Schmidhuber'e göre, bir bilgisayarı hesaplanması mümkün olan tüm evrenleri yaratabilmesi için programlamak, bu evrenleri tek tek yaratmak için ayrı ayrı bilgisayarlar programlamaktan daha kolaydır. Bunun nedenini anlamak için, bir bilgisayarı beyzbol oyunu betimlemesi için programladığınızı düşünün. Her bir oyun için gerek duyacağınız bilgi miktarı son derece fazladır: Tek tek her oyuncunun fiziksel ve zihinsel her bir ayrıntısı, stadyumun, hakemlerin, hava durumunun her bir ayrıntısı vb. Benzetimlediğiniz her yeni oyun için aynı miktarlarda yeni bilgilerin belirlenmesine ihtiyaç olacaktır. Eğer, sadece bir ya da birkaç oyun değil de aklınıza gelebilecek *her oyunu* benzetimlemeye karar verirseniz, programlama yükünüz çok daha azalacaktır. Oyuncuları, çevreyi ve tüm diğer ilgili özellikleri etkileyen tüm olası değişkenleri sistematik olarak ele alan tek bir ana program hazırlayıp programı işletirsiniz. Üretilen muazzam sayıda sonuçtan tek bir oyunu çekip çıkarmak zor olacaktır ama emin olabilirsiniz ki mümkün olan her bir oyun eninde sonunda kendini gösterecektir.

Özetle, geniş bir koleksiyon içinde tek bir birimin ayrıntılarını belirlemek çok daha fazla bilgi gerektirmekte, koleksiyonun tü-

müne ilişkin ayrıntıları belirlemek çoğu kez daha kolay olmaktadır. Schmidhuber bu durumun benzetimli evrenler için de geçerli olduğunu bulmuştur. Belli matematik denklemler setini kullanarak bir dizi evren benzetimlemesi istenen bir programcı kolay olan yolu seçecektir: Tıpkı beyzbol tutkunu gibi, *tüm* hesaplanabilir evrenleri üretecek tek ve daha kısa bir program yazmayı tercih edecek ve işini bitirecektir. Sonuçta ortaya çıkan olağanüstü sayıdaki benzetimli evrenlerin içinde, programcı yalnızca kendisinden benzetimi istenen evrenleri bulacaktır. Ben şahsen, bilgisayarın çalışma saati başına para ödemezdim, çünkü bu benzetimleri bitirme zamanı olağanüstü uzun olurdu. Ancak, programcıya elbette seve seve saat başına ödeme yapardım çünkü tüm hesaplanabilir evrenleri üretecek temel programı yazmak herhangi tek bir evreni üretmek için gerekenden daha az yoğunlukta bir iştir.[11]

Benzetimli Çoklu Evren bu senaryolardan herhangi biriyle – ya çok sayıda evreni ayrı ayrı ya da tek bir ana programla hepsini birden benzetimleme yoluyla– yaratılabilir. Ortaya çıkacak evrenler farklı matematiksel yasalara dayanacağından, bu senaryoların Sonbiçim Çoklu Evren'in belli bir kısmını meydana getireceğini düşünebiliriz: Hesaplanabilir matematiksel fonksiyonlara dayanan kısmını.*

Sonbiçim Çoklu Evren'in sadece bir kısmını yaratmadaki en büyük sorun, bu sınırlı versiyonun her şeyden önce Nozick'in verimlilik ilkesini öne sürmesine yol açan soruna tam olarak çözüm olamamasıdır. Olası tüm evrenler var olmuyorsa, Sonbiçim Çoklu Evren bütünüyle yaratılamıyorsa, o zaman neden bazı evrenlerin ortaya çıktığı bazılarının çıkmadığı sorusu tekrar gün-

* Max Tegmark'a göre, başından sonuna kadar bir benzetimin tümü matematiksel ilişkilerden oluşmaktadır. Eğer bütün matematiğin gerçek olduğuna inanıyorsanız, o zaman bu matematik ilişkilerin de gerçek olduğunu düşünmelisiniz. Buna dayanarak, herhangi bir bilgisayar benzetimine de gerek olmadığını, her birinin ürettiği matematiksel ilişkilerin zaten gerçek olduğunu düşünebilirsiniz. Bir benzetimi zamanda ileriye doğru gerçekleştirmenin akla yatkın olsa da son derece sınırlayıcı olduğunu da unutmamalıyız. Bir evrenin hesaplanabilirliği, bu evrenin tüm geçmişini tanımlayan matematiksel ilişkilerin hesaplanabilirliği incelenerek değerlendirilmelidir, bu matematiksel ilişkiler benzetimin zaman içindeki gelişmesini tanımlasa da tanımlayamasa da.

deme gelir. Yine neden yalnızca hesaplanabilir denklemlere dayalı evrenlerin mümkün olabildiğini sormaya başlarız.

Bu bölümde izlediğimiz son derece sorgulayıcı patikada ilerlersek, belki de hesaplanabilir/hesaplanamaz ayrımı bize bir şey söylemektedir. Hesaplanabilir matematiksel denklemlerle, geçtiğimiz yüzyılın ortalarında Kurt Gödel, Alan Turing ve Alonzo Church gibi felsefecileri meşgul eden karmaşık konulara girmekten kurtuluyoruz. Gödel'in ünlü *eksiklik teoremi*ne göre bazı matematiksel sistemler, matematiksel sistemin kendi içinde ispat edilemeyen ifadeleri ister istemez doğru olarak kabul ederler. Fizikçiler uzun süre Gödel'in dediklerini kendi çalışmalarında nasıl kullanabileceklerini düşünmüşlerdir. Doğanın bazı özelliklerinin matematiksel olarak tanımlanamadığı durumlarda fizik de eksik kalabilir mi? Sonbiçim Çoklu Evren'in sınırlı versiyonu bağlamında düşünecek olursak, bu sorunun yanıtı "hayır"dır. Hesaplanabilir matematiksel fonksiyonlar, tanımları gereği, sonuç veren işlemler yapılabilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle, bilgisayarın başarıyla değerlendirip uygulamaya koyacağı fonksiyonlardır. Eğer bir çoklu evrendeki tüm evrenler hesaplanabilir fonksiyonlara dayansalardı, zaten Gödel'in teoremi son bulur; Matematiksel Babil Kitaplığı'nın bu yanı, Sonbiçim Çoklu Evren'in bu sınırlı versiyonu Gödel'in hayaletinden kurtulurdu. Belki de bu nedenle hesaplanabilir fonksiyonlar ayrı bir yere sahiptir.

Peki, *bizim* evrenimizin bu tip bir çoklu evrende yeri olabilir mi? Diğer bir deyişle, fizik yasalarının en son durumunu dikkate aldığımızda bu yasalar kozmosu hesaplanabilir matematiksel fonksiyonlara dayanarak tanımlayabilecek midir? Yalnızca bugün fizikte kullandığımız yaklaşık olarak hesaplanabilen fonksiyonları kastetmiyorum. Tam olarak hesaplanabilir olanlar peki? Kimse bilemez. Bu durumda, fizikteki gelişmelerin getirdiği kuramlarda sürekliliğin bir rolü olmaması gerekir. Hesaplamalarda temel paradigma olan kesiklilik özelliği korunabilmelidir. Uzay kuşkusuz süreklilik göstermektedir, ancak biz uzayın henüz metrenin milyar kere milyarda bir kısmına kadar inceleyebildik. Belki bir gün çok daha başarılı incelemelerle uzayı temel-

de kesikli bir olgu olarak ele alabileceğiz; şimdilik soru önemli ölçüde yanıtsız kalmaktadır. Yine sınırlı bir başka anlayış da, zamanın aralıklarıyla ilgilidir. IX. Bölüm'de sözünü ettiğimiz gibi, belli bir uzay bölgesindeki her Planck alanı için bir bit olan bilgi kapasitesiyle ilgili keşifler, kesiklilik özelliği yönünde önemli bir adımdır. Ancak bu dijital paradigma konusunda ne kadar yol alınabileceği henüz kestirilememektedir.[12] Bilinçli benzetimler yapılsa da yapılmasa da, tahminim o ki, dünyanın temelde kesikli bir yapıda olduğu er ya da geç saptanacaktır.

Gerçekliğin Kökleri

Benzetimli Çoklu Evren'de hangi evrenin "gerçek" olduğuna –yani dallanıp budaklanmış benzetimli evrenler ağacının kökünü oluşturan evrene– yönelik bir belirsizlik yoktur. Bu evrenlerden hangisindeki bilgisayarlar çöktüğünde bütün çoklu evren de çöküyorsa işte o evren gerçek olandır. Bu evrenlerdeki benzetimli bir varlık da kendi benzetimlerini yaratabilir; ancak yine de tüm bu benzetimler silsilesinin elektriksel etkileşimler olarak görüldüğü gerçek bilgisayarların olması gerekir. Hangi doğruların, örüntülerin ve yasaların geleneksel anlamda gerçek olduğuna dair herhangi bir belirsizlik yoktur: gerçek olanlar kök evrende işleyenlerdir.

Bununla birlikte, Benzetimli Çoklu Evren'de yaşayan benzetimli bilim insanları farklı düşünebilir. Eğer bu bilim insanlarının belli bir özerkliği varsa –eğer benzetimi yapanlar bu canlıların belleklerini yeniden düzenlemez ya da olayların doğal akışını değiştirmezlerse– kendi deneyimlerimizden yola çıkarak bu canlıların kendi dünyalarını yürüten matematiksel kodu çözerek önemli gelişmeler kaydedeceklerini söyleyebiliriz. Bu kodu da kendi doğa yasaları olarak düşüneceklerdir. Bununla birlikte, yasalarının gerçek evreni yöneten yasalarla birebir aynı olması gerekmemektedir. Yalnızca bir bilgisayarda benzetimlendiğinde bilinçli canlıların bulunduğu bir evren sonucunu verecek kadar iyi olmaları yeterlidir. Eğer bu canlıların iyi olarak değerlendirilebilecek birbirinden ayrı birden çok matematik yasaları varsa, giderek ar-

tan sayıda benzetimli bilim insanı, bu matematik yasalarının, temel yasalar olmanın ötesinde, benzetimi yapanlarca seçilmiş yasalar olduğunu da ileri süreceklerdir. Eğer biz de bu türden tipik bir çoklu evrenin canlılarıysak, bu mantığa göre, bizim normalde bilim olarak adlandırdığımız ve gerçeklik hakkındaki doğruları –ağacın kökünde tüm işleyişleri yöneten kök gerçekliği– anlamaya çalışan disiplinlerin de geçersiz olması gerekir.

Bu insanı rahatsız eden bir olasılık ama doğrusu beni çok da fazla tedirgin etmiyor. Bilinçli bir benzetimli varlık görüp de aklım başımdan gitmedikçe, kendimin de bir benzetim içinde olup olmadığımı fazla düşünmek istemiyorum. Eğer günün birinde böyle bilinçli benzetimler söz konusu olursa –ki bu da büyük bir "eğer"– o zaman bunu gerçekleştirebilen bir uygarlığın teknolojik kapasitesinin ne kadar olağanüstü olduğu belli olur. Ancak böyle bir başarı uzun ömürlü olur mu? Bence, yaşayanlarının benzetimli olduklarının farkında olmadıkları yapay dünyalar yaratmanın heyecanı zamanla kaybolacaktır; etrafta bu şekilde çok fazla TV programı var zaten.

Bunun yerine, hayal gücümün bu spekülatif alanda serbest kalmasına müsaade edersem, düşüncem, kalıcı gücün benzetimli dünyalarla gerçek dünyalar arasındaki etkileşimleri geliştiren uygulamaların tarafında olacağı yönünde olur. Benzetimli canlılar gerçek dünyaya göç edebilir ya da benzetimli dünyada kendi biyolojik benzerleriyle bir araya gelebilirler. Zaman içinde, gerçek ve benzetimli dünyalar anakronik bir nitelik kazanabilir, yani olay, kişi ya da nesnelerin belli bir zamana ait olma özellikleri birbirine karışabilir. Bu bana daha olası bir şey gibi geliyor. Bu durumda, Benzetimli Çoklu Evren gerçeklik anlayışımıza –bizim gerçeklik anlayışımıza, asıl gerçekliğimize– önemli bir katkı sağlamış olur. "Gerçeklik" olarak adlandırdığımız şeyin esas bir parçası haline gelir.

XI. Bölüm

Sorgulamanın Sınırları

Çoklu Evrenler ve Gelecek

Isaac Newton fikirleriyle bilimin önüne geniş kapılar açtı. Cisimlerin hem yeryüzündeki hem de uzaydaki hareketlerinin birkaç matematiksel denklemle tanımlanabileceğini keşfetti. Ulaştığı sonuçların gerek basitliği gerek açıklayıcı gücü dikkate alınırsa, Newton denklemlerinin kozmosun temellerine kazınmış ebedi doğruları yansıttığı kolaylıkla düşünülebilirdi. Ancak Newton'un kendisi böyle düşünmemişti. Newton evrenin, kendi yasalarının ifade ettiğinden çok daha zengin ve gizemli olduğuna inandı. Kendisi de daha sonra şöyle diyecekti, "Dünya yaptıklarım konusunda ne düşünür bilemem ama kendi açımdan söylemem gerekirse, ben hâlâ kumsalda oynarken arada bir sıra dışı düz bir çakıl taşı ya da deniz kabuğu bulan ancak önünde tümüyle keşfedilmemiş bir gerçeklik okyanusu uzanan küçük bir çocuğum." Aradan geçen yüzyıllar Newton'un bu söylediklerini fazlasıyla doğruladı.

Ben kendi adıma memnunum. Eğer Newton'un denklemleri büyük ya da küçük, ağır ya da hafif, hızlı ya da yavaş her tür olguya hatasızca açıklık getirmiş olsaydı, bilimin uzun ve canlı yolculuğu son derece farklı bir nitelik kazanırdı. Newton'un denklemleri bize dünyayla ilgili çok şey anlatmaktadır, ancak denklemlerin sınırsız bir geçerliliği olmuş olsaydı baştan başa tekdüze bir kozmos manasına gelecekti. Öyle bir durumda, gündelik ölçekteki fiziği anladığınız an işiniz tamamdır. Aynı anlayış bütün büyük ölçekler ve bütün küçük ölçekler için geçerli olacaktır.

Bilim insanları, Newton'un araştırmalarını devam ettirerek, onun denklemlerinin geçerli olduğu bölgelerin çok ötesindeki bölgelere varmaya çalıştılar. Öğrendiklerimiz gerçekliğin doğasıyla ilgili anlayışımızda köklü değişiklikler gerektirdi. Böyle değişiklikler kolayca gerçekleşmedi. Bilim insanları tarafından yakından incelendiler ve çoğu zaman keskin direnişlerle karşılaştılar. Sadece kanıtlar kritik bir miktara ulaştığında yeni bir görüş kabul gördü. Olması gereken de budur. Kesin bir yargıya varmak için acele etmeye gerek yok. Gerçeklik bekleyebilir.

Geçtiğimiz yüzyıl boyunca gerçekleşen kuramsal ve deneysel ilerlemelerde en çok öne çıkan temel gerçek, kendi deneyimlerimizin gündelik koşulların ötesindeki durumlara dair incelemelerimiz için güvenilir bir rehber olmadığıdır. Bu nedenle, sıra dışı koşulları açıklamaya çalışan yeni fizik kuramları –genel görelilik, kuantum mekaniği, doğru olduğu kanıtlanırsa sicim kuramı– için radikal yeni fikirlerin gerekmesi şaşırtıcı değildir. Bilimin temel varsayımına göre, her ölçekte düzenlilikler ve örüntüler vardır, ancak Newton'un kendisinin de belirttiği gibi, doğrudan karşı karşıya geldiğimiz örüntülerin tüm ölçeklerde tekrar ettiği beklentisinin dayanağı yoktur.

Şaşırtıcı olanla karşılaşmamak şaşırtıcı olurdu.

Bu, kuşkusuz, fiziğin gelecekte gözler önüne serecekleri için de geçerlidir. Belli bir kuşağa mensup bilim insanları, gelecekte tarihin kendi çalışmalarını geçici ve işe yaramaz olarak mı yoksa zamana yenik düşmeyen kavrayışlar geliştirmiş çalışmalar olarak mı değerlendireceğini asla bilemez. Küçük ölçekteki bu be-

lirsizlik, fiziğin en önemli özelliklerinden biri olan toptan kararlılıkla, yani yeni kuramların yerini aldıkları kuramları genellikle tamamen silmemesiyle dengelenmektedir. Daha önce belirttiğimiz gibi, yeni kuramlar gerçeklikle ilgili yeni bakış açıları getirseler de önceki keşifleri gereksiz olarak görmezler. Bunları kendi bakış açıları ile birleştirip genişletirler. Bu nedenle, fiziğin tarihi kendi içinde dikkat çekici bir bütünlük göstermiştir.

Bu kitapta, fizik tarihi içinde bir sonraki büyük gelişme olmaya aday bir konuyu inceledik: Evrenimizin bir çoklu evre-

PARALEL EVREN MODELİ	TANIM
Kapitone Çoklu Evren	Sonsuz bir evrendeki koşullar kaçınılmaz biçimde uzayın bir yanından öbür yanına tekrarlanır ve paralel dünyalar meydana gelir.
Şişme Evreli Çoklu Evren	Ebedi kozmolojik şişme, bizim evrenimizin de içlerinden biri olabileceği muazzam bir baloncuk evren ağı meydana getirir.
Zar Çoklu Evreni	Sicim/M-Kuramının zar evren senaryosuna göre, evrenimiz üç boyutlu tek bir zar üzerinde bulunmaktadır. Bu zar, daha yüksek boyutlu ve muhtemelen diğer zarların, yani diğer paralel evrenlerin doldurduğu bir enginlikte yüzmektedir.
Döngüsel Çoklu Evren	Zar evrenler arasındaki çarpışmalar, büyük patlama benzeri başlangıçlar yaratarak zamanda paralel olan evrenlerin oluşmasına yol açar.
Manzara Çoklu Evreni	Şişme kozmolojisiyle sicim kuramını birleştiren bu modelde, sicim kuramındaki ekstra boyutların çeşitli farklı biçimleri değişik baloncuk evrenlerin oluşmasına yol açar.
Kuantum Çoklu Evreni	Kuantum mekaniği, olasılık dalgalarında yer alan her olabilirliğin çok büyük bir paralel evrenler kümesinde gerçekleştiğini öne sürer.
Holografik Çoklu Evren	Holografik ilkeye göre evrenimiz, uzaktaki bir yüzeyde, fiziksel olarak eşdeğer bir paralel evrende gerçekleşenlerin bire bir yansımasıdır.
Benzetimli Çoklu Evren	Teknolojik gelişmeler benzetimli evrenlerin bir gün mümkün olabileceğine işaret etmektedir.
Sonbiçim Çoklu Evren	Verimlilik ilkesi, olası her evrenin gerçek bir evren olduğunu iddia eder ve böylelikle neden tek bir olasılığın –kendi evrenimizin– özel olduğu sorusu bertaraf edilir. Bu evrenler olası tüm matematiksel denklemleri örneklemektedir.

Tablo 11.1. Çeşitli Paralel Evren Versiyonlarının Özeti

nin parçası olma olasılığını. Bu süreçte yaptığımız yolculuk, bizi çoklu evren temasının Tablo 11.1.'de özetlenen dokuz farklı çeşidine götürdü. Her biri ayrıntılarda birbirlerinden çok farklı olsa da hepsinin ortak iddiası, algıladığımız gerçeklik resminin aslında çok daha büyük bir resmin parçası olduğudur. Hepsinde de insan aklının ve yaratıcılığının izleri vardır. Bu görüşlerden hangisinin ileride insan zihnine ait derin matematiksel düşünceler olmaktan öteye gideceği, şu ana kadar başardığımızdan daha fazla kavrayış, bilgi, hesaplama, deney ve gözlemle ortaya çıkacaktır. Paralel evrenler konusunun gerçekliği hakkında fizik tarihinde yeni bir sayfa açılıp açılmayacağını görmek içinse geleceğin getireceği bakış açısının beklenmesi gerekiyor.

Doğayla ilgili varsayımlardan söz eden bir kitap neyse, okuduğunuz bu kitap da öyledir. Bu son bölümde, tüm parçaları birleştirip konumuza ilişkin en önemli sorunun yanıtını verebilmeyi isterdim: Evren mi, yoksa çoklu evren mi? Ama böyle bir yanıtı veremem. Bilginin sınırlarına dokunan araştırmaların doğası böyledir. Bunun yerine, çoklu evren kavramının ne yöne gidebileceğini ve şu an bulunduğu noktayı ana hatlarıyla görebilmek için fizikçilerin gelecek yıllarda üzerinde durmaya devam edeceği beş temel soruyu ele alalım.

Kopernik Örüntüsü Temel Bir Örüntü müdür?

Fizik yasalarının temelinde, gözlemlerde ve matematikte açıkça görülen, düzenlilikler ve örüntüler bulunmaktadır. Peş peşe gelen nesiller tarafından kabul edilmiş olan fizik yasalarının doğasına dair ortaya çıkmış olan başka türlü örüntüler de ayrıca önem taşır. Bu tür örüntüler, bilimsel keşiflerin insanlığın kozmik düzendeki yeriyle ilgili bakış açısını nasıl değiştirdiğini yansıtır. Neredeyse beş asır boyunca, Kopernik'in kaydettiği ilerleme hakim tema olmuştur. Güneşin doğuşu ve batışından gökyüzündeki takımyıldızların hareketlerine, oradan zihnimizin iç dünyasında oynadığımız başrole kadar bütün deneyimlerimizi düşündüğümüzde, kozmos âdeta bizim etrafımızda dönmüştür. Ne var ki nesnel yöntemlerle yürütülen bilimsel çalışmalar her defasında bu ba-

kış açısının yanlış olduğunu ortaya koymuştur. Yine her defasında, biz olsak da olmasak da kozmik düzenin değişmeden devam edeceğini görmüşüzdür. Bu nedenle, kozmik komşularımız içinde dünyanın, gökadada güneşin, gökadalar içinde Samanyolu'nun ve hatta kozmik yapıda protonların, nötronların ve elektronların, yani bizi oluşturan yapı taşlarının merkezi konuma sahip oldukları inancımızdan vazgeçmemiz gerekmiştir. Oysa bir zamanlar, büyüklük yanılsamamıza karşı gelen kanıtlar, insanın değerine cepheden saldırmak anlamına gelirdi. Zamanla, deneyim kazandıkça aydınlanmanın değerini daha iyi anlar duruma geldik.

Bu kitapta izlenen yol, Kopernikçi yaklaşımda yapılan düzeltmelerin kilit taşı olabilmeye yöneliktir. Evrenimiz herhangi bir kozmik düzenin merkezinde olmayabilir. Diğer gezegenler, yıldızlar ve gökadalar gibi evrenimiz de pek çok benzerinden biridir. Çoklu evren anlayışına dayalı gerçekliğin Kopernik anlayışını aştığı, belki de bu anlayışı tamamladığı düşüncesi bir merak konusudur. Çoklu evren anlayışını sıradan bir varsayımdan öteye taşıyan şey, sürekli olarak karşılaşmış olduğumuz temel bir olgudur. Bilim insanları, Kopernik devrimini geliştirelim diye bir arayış içinde değiller ya da karanlık laboratuvarlarda oturup Kopernik'in örüntüsünü tamamlama planları yapmıyorlar. Her zaman yaptıkları gibi, verileri ve gözlemleri temel alarak matematiksel kuramları geliştiriyor ve maddenin temel bileşenlerini, bu bileşenlerin davranışlarını, etkileşimlerini ve evrimini yöneten kuvvetleri inceliyorlar. Çarpıcı bir biçimde, kuramların ışığında yaptıkları bu çalışmalardan da değişik potansiyel çoklu evren modelleri çıkıyor. En çok seyahat edilen bilimsel otoyollar boyunca uzun bir yolculuğa çıkın, etrafınıza makul düzeyde bir dikkatle bakın; çeşitli çoklu evren adayı kümeleriyle karşılaşacaksınız.

Belki gelecekteki keşiflerle Kopernikçi yaklaşımla yapılan düzeltmeler farklı boyutlar kazanacak. Ancak şu an bulunduğumuz noktada gözüken o ki yeni bilgiler edindikçe, merkezi bir öneme sahip olmadığımızı daha çok anlıyoruz. Olur da bilimsel gelişmeler önceki bölümlerde ele aldığımız çoklu evren anlayış-

larını ileriye taşırsa, o zaman Kopernik devrimi tam beş yüzyıl sonra tamamlanmış olacaktır.

Çoklu Evreni Destekleyen Bir Bilimsel Kuram Sınanabilir mi?

Çoklu evren kavramı Kopernik şablonuna tam olarak uysa da nitelik açısından bizi sahnenin merkezinin dışına iten önceki yaklaşımlara göre oldukça farklıdır. Görünüşe bakılırsa, çoklu evrenler, belli bir doğruluk payıyla ya da bazı durumlarda ise tamamıyla üzerinde inceleme yapmamıza imkân tanımayan bölgelerin varlığını destekleyerek bilimsel bilginin önüne büyük engeller inşa etmektedir. Kozmik düzende insanlığın yeriyle ilgili düşünceleri bir tarafa bırakırsak, yaygın bir şekilde benimsenen bir varsayım şudur: titiz deneyler, gözlemler ve matematiksel hesaplamalar yoluyla daha derin bir kavrayış geliştirme kapasitesi sınırsızdır. Eğer bir çoklu evrenin parçasıysak, en mantıklı beklentimiz olsa olsa kozmosun bir köşesinde duran evrenimizi anlamak olabilir. Daha da iç karartıcı olanı, çoklu evren kavramına başvurarak sınanamayan kuramlar alanına girme endişesidir –gözlemlediğimiz her şeyi "bir şekilde burada olmaları gerekiyor"a indirgeyerek "işte böyle" öykülerine dayanan kuramlar alanına girme endişesi.

Bununla birlikte, yukarıda öne sürdüğüm gibi, çoklu evren kavramı bundan daha inceliklidir. Çoklu evren içeren kuramların çeşitli yöntemlerle sınanabilir öngörüler ortaya koyabileceğini yukarıda gördük. Örneğin, verili bir çoklu evreni oluşturan belli evrenler birbirlerinden çok farklı da olsalar, aynı kurama dayandıkları için ortak özellikleri olabilir. Erişimimiz olan tek evrende yaptığımız ölçümlerle bu ortak özellikleri tespit etmeyi başaramayışımız çoklu evren önerisinin yanlış olduğunu kanıtlayacaktır. Bu özelliklerin doğrulanmasıysa, özellikle de alışılmışın dışında özellikler olmaları durumunda, önerinin doğruluğuna güven duyulmasını sağlayacaktır.

Eğer tüm evrenlerde ortak olan özellikler yoksa, fiziksel özellikleri arasındaki korelasyonlar başka bir sınanabilir öngörüler

grubu sunabilir. Örneğin, parçacık listesinde elektron bulunan tüm evrenler aynı zamanda henüz bulunmamış bir başka parçacığa da sahipse, bu parçacığın burada evrenimizde yapılan deneylerle bulunmamış olması çoklu evren önerisini geçersiz kılmaya yetmektedir. Doğrulanmalarıysa öneriye güven duyulmasını sağlayacaktır. Daha karmaşık korelasyonlar –parçacık listesinde, söz gelimi, tüm bilinen parçacıklar (elektronlar, müonlar, yukarı-kuarklar, aşağı-kuraklar vb.) bulunan ve zorunlu olarak yeni bir parçacık türü içeren evrenler örneğinde olduğu gibi– aynı şekilde sınanabilir, yanlışlanabilir öngörüler ortaya koyulmasını sağlar.

Bu gibi sıkı korelasyonlar yoksa, bir evrenden diğerine değişen fiziksel özellikler de tahminlerde bulunmamızı sağlayabilir. Örneğin, belli bir çoklu evrende, kozmolojik sabit çok farklı değerler gösteriyor olabilir. Ancak bu evrenlerin büyük bir çoğunluğundaki kozmolojik sabit değeri bizim burada ölçtüğümüz değerle (Şekil 7.1'de gösterildiği gibi) örtüşüyorsa, böyle bir çoklu evrenin varlığına olan güvenimiz haklı olarak artacaktır.

Son olarak, bir çoklu evrendeki evrenlerin büyük bölümü bizimkinden farklı özellikler gösterse bile deneyebileceğimiz bir yöntem daha var. Bu çoklu evrende sadece bizim yaşam formumuza uygun olan evrenleri dikkate alarak insan temelli yaklaşımdan destek alabiliriz. Eğer bu gruptaki evrenlerin çoğu bizim evrenimize benzer özellikler taşıyorsa –bizim evrenimiz koşulların yaşamımızı desteklediği evrenlerin tipik bir örneğiyse– bu çoklu evrenin varlığına güvenimiz artar. Evrenimiz tipik olmayan bir örnekse, kuramı silip atamayız ama bu istatistiksel akıl yürütmenin bilindik bir kısıtlamasıdır. Olabilirliği düşük sonuçlar elde edilebilir ve bazen edilirler. Yine de evrenimiz ne kadar az tipikse, bu çoklu evren önerisi de o kadar zayıf olur. Belli bir çoklu evrendeki yaşamı destekleyen evrenler arasında bizim evrenimiz diğerlerinden tamamen farklıysa, bu, o çoklu evren önerisinin konu dışı olduğuna dair güçlü bir kanıt olur.

Bu nedenle, bir çoklu evren önerisini niceliksel açıdan incelemek için, onu oluşturan evrenlerin demografisine bakılmalıdır.

Yalnızca çoklu evren önerisinin göz önünde bulundurduğu olası evrenleri bilmek yeterli olmaz; önerinin yol açtığı gerçek evrenlerin ayrıntılı tüm özelliklerini de saptamalıyız. Bu da belli bir çoklu evren önerisindeki çeşitli evrenlerin oluşmasına yol açan kozmolojik süreçlerin iyi anlaşılmasını gerektirir. O zaman, çoklu evrende bir evrenden diğerine değişen fiziksel özelliklere dayanarak sınanabilir öngörülerde bulunabiliriz.

Tüm bu değerlendirmeler silsilesinin kesin sonuçlar verip vermeyeceği ancak her bir çoklu evren için ayrı ayrı saptanabilir. Fakat sonuç olarak, başka evrenleri –ne şimdi ne de belki de hiçbir zaman erişemeyeceğimiz bölgeleri– içeren kuramlar bize hâlâ sınanabilir, dolayısıyla yanlışlanabilir öngörüler sunabilir.

Karşılaştığımız Bu Çoklu Evren Kuramlarını Sınayabilir miyiz?

Bir bilimsel araştırma sürecinde fiziksel sezgiler çok önemlidir. Kuramcıların akla gelebilecek tüm olasılıkları değerlendirmesi gerekir. Şu denklemi mi yoksa bu denklemi mi kullanmalıyım, şu örüntüyü mü yoksa bu örüntüyü mü esas almalıyım? En iyi fizikçiler hangi seçimlerin doğru sonuçlara götürebileceğine, hangilerinin sonuç vermeyeceğine dair keskin ve kusursuzluk derecesinde isabetli sezgilere ve içgüdülere sahiptir. Ancak bu perde arkasında gerçekleşir. Bilimsel öneriler açıklandığında sezgiler ya da içgüdülerle değerlendirilmezler. Tek bir ölçüt vardır: Önerinin deneysel verileri ve gökbilim gözlemlerini açıklayabilme ya da öngörebilme yetisi.

İşte bilimin eşsiz güzelliği burada yatar. Daha derinlikli bir kavrayışa sahip olmak için uğraş verirken, hayal gücümüze keşfetmesi için çok geniş bir alan sunmalıyız. Geleneksel fikirlerin ve yerleşik kalıpların dışına çıkmaya hazır olmalıyız. Ancak, insan yaratıcılığının rol oynadığı diğer tüm etkinliklerden farklı olarak, bilim neyin doğru olduğuna ve neyin olmadığına dair nihai bir hesaplama, hazır bir değerlendirme sunar.

Yirminci yüzyılın sonlarıyla yirmi birinci yüzyılın başlarında bilimsel faaliyeti zorlaştıran bir etmen, bazı kuramsal düşünce-

lerin sınama veya gözlemleme becerimizin ötesine geçmiş olmasıdır. Sicim kuramı bir süre bu durumun timsali olarak görüldü; bir çoklu evrenin parçası olma ihtimalimiz çok daha şaşırtıcı bir örnektir. Çoklu evren önerilerinin nasıl sınanabileceğine dair genel bir reçete sundum, ancak şu anki kavrayış düzeyimizde, karşı karşıya olduğumuz bu çoklu evren kuramlarının hiçbiri bu kriterlere uymuyor. Devam eden araştırmalarla bu konuda muazzam gelişme kaydedilebilir.

Örneğin, Manzara Çoklu Evreni konusundaki araştırmalarımız henüz ilk aşamalarında. Sicim kuramına dayalı olası bir evrenler topluluğu –sicim manzarası– Şekil 6.4'te şematik olarak gösterilmektedir, ancak bu dağlık bölgenin ayrıntılı haritaları henüz çizilmemiştir. Eski çağların denizcileri gibi, oralarda neler bulunduğuna dair kabataslak bir fikrimiz var, ama o kara parçasının haritasını çıkartabilmek için geniş çaplı matematiksel incelemeler gerekiyor. Elimizde böyle bir bilgi olursa, bir sonraki aşama bu olası evrenlerin Manzara Çoklu Evreni'nde nasıl bir dağılım gösterdiğini belirlemek olur. Temel fiziksel süreç, yani kuantum tünellemesi yoluyla baloncuk evrenlerin yaratılması, ilkesel olarak gayet iyi anlaşılsa da (Şekil 6.6 ve Şekil 6.7), sicim kuramında niceliksel derinlikle incelenmesi gerekmektedir. Çeşitli araştırma grupları (benim grubum da dahil olmak üzere) bu konuda ilk incelemeleri yapmışlardır, ancak hâlâ araştırılacak geniş bir alan bulunmaktadır. Önceki bölümlerde gördüğümüz gibi, benzeri belirsizlikler diğer çoklu evren modelleri için de söz konusudur.

Deneysel ve kuramsal gelişmelerin belli bir çoklu evren modelinden ayrıntılı öngörüler çıkartacak duruma gelmesinin yılları mı on yılları mı bulacağını kimse bilmiyor. Şu andaki durum devam ederse, bir seçim yapmamız gerekecek. Bilimi –"saygın bilimi"– sadece Dünya gezegeninde hâlihazırda yaşayan insanların sınama veya gözlemleme kapasitesine uygun düşen fikirleri, bölgeleri ya da olasılıkları kapsayan bir şey olarak mı tanımlayacağız? Yoksa daha geniş açıdan bakıp önümüzdeki yüz yıl içinde başarmayı hayal edebileceğimiz teknolojik gelişmelerle sına-

nabilir olacak fikirleri mi "bilimsel" olarak kabul edeceğiz? Yoksa önümüzdeki iki yüz yılda kaydedilecek teknolojik gelişmelerle mi? Ya da daha uzun bir sürede mi? Yoksa daha da geniş bir açıdan mı bakmalıyız? Bilimin, gözler önüne serdiği bütün patikaları izlemesine müsaade eder miyiz? Deneysel olarak doğrulanmış kavramlara dayanan fakat kuramsallaştırma çabalarımızı insan erişiminin, belki de sonsuza dek, ötesindeki saklı bölgelere götürecek yönlere doğru yol almasına müsaade eder miyiz?

Bu sorunun da net bir yanıtı yok. Bu noktada şahsi bilimsel beğeni ön plana çıkıyor. Bilimsel araştırmaları şu anda ya da yakın bir gelecekte sınanabilir durumda olan modellerle sınırlı tutma güdüsünü gayet iyi anlıyorum. Bilimsel yapıyı da zaten böyle kurduk. Ancak düşüncelerimizi bulunduğumuz yerin, kim olduğumuzun, içinde yaşadığımız zamanın dayattığı keyfi sınırlar içinde tutmayı dar görüşlülük olarak görüyorum. Gerçeklik bu sınırları aşar; bu nedenle, derindeki hakikatleri bulmayı amaçlayan çabaların da bu sınırları er ya da geç aşması beklenmelidir.

Ben geniş açıdan bakmaktan yanayım. Ancak deneyler ya da gözlemlerle anlamlı bir doğrulama sağlamayacak fikirlere de bir sınır çizerim; insanın zayıflığı ya da teknolojik zorluklardan dolayı değil, önerilerin kendilerine has yapıları yüzünden. Ele aldığımız çoklu evrenler içinde yalnızca Sonbiçim Çoklu Evren modelinin en gelişmiş versiyonu bu şekildedir. Bu model olası her türlü evreni kapsıyorsa, o zaman, ölçümlerimiz ya da gözlemlerimiz nasıl olursa olsun, sonuçlarımızı onaylayıp kabul edecektir. Tablo 11.1.'de özetlenen diğer sekiz çoklu evren önerisi bu tuzağa düşmez. Her biri sağlam gerekçelere, mantıklı akıl yürütmelere dayanır ve her biri sorgulanmaya açıktır. Eğer gözlemler uzayın genişliğinin sonlu olduğunu kanıtlarsa, Kapitone Çoklu Evren gözden çıkartılabilir. Belki de daha kesin kozmik mikrodalga fon verilerinin ancak inflatonun şekli tamamen değişmiş (dolayısıyla ikna edici olmayan) potansiyel enerji eğrilerini varsayarak açıklanabilmesinden dolayı şişme kozmolojisine itimadımızı yitirirsek, Şişme Evreli Çoklu Evren modeli de or-

tadan kalkar.* Sicim kuramı, belki de kuramın kendi içinde tutarsız olduğunu gösteren, kolay fark edilmeyen bir matematiksel hatanın keşfedilmesiyle (ilk araştırmacılar başlangıçta böyle düşünmüştü) kuramsal bir gerileme yaşarsa, sicim kuramının çoklu evrenleri dayanaklarını yitirir. Tersini düşünürsek, baloncukların çarpışmasıyla mikrodalga fon ışınımında ortaya çıkması beklenen örüntülerin gözlenmesi Şişme Evreli Çoklu Evreni dolaysız bir şekilde destekleyen kanıtlar sunabilir. Süpersimetrik parçacıkları, kayıp enerjinin izlerini ve mini kara delikleri arayan hızlandırıcı deneyleri hem sicim kuramı hem de Zar Çoklu Evreni için kanıtlar ortaya koyabilir; baloncuk evrenlerin çarpışmasına ilişkin kanıtlar da Manzara Çoklu Evreni modelini güçlendirebilir. Evrenin ilk dönemlerindeki kütleçekimsel dalgaların izlerinin bulunması ya da böyle bir şeyin var olmadığının ortaya konulması, şişme paradigmasına dayanan kozmolojiyle Döngüsel Çoklu Evren'e dayanan kozmolojinin ayırt edilmesini sağlayabilir.

Kuantum mekaniği, Çoklu Dünyalar kılığına girdiğinde, Kuantum Çoklu Evreni'ni ortaya çıkarmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, kuantum mekaniğinin şu ana kadar güvendiğimiz denklemlerinde çok daha hassas verilere uyması için küçük değişiklikler yapılması gerektiğini ortaya koyarsa, bu tür bir çoklu evren modeli de çökecektir. Kuantum kuramında VIII. Bölüm'de ayrıntılı olarak üzerinde durduğumuz doğrusallık özelliğinden taviz veren bir değişiklik olursa, böyle bir durum ortaya çıkabilir. Kuantum Çoklu Evreni'nin ilkesel olarak sınanabildiğinden ve sonuçları Everett'in Çoklu Dünyalar modelinin doğru olup olmadığına göre değişen deneylerden söz etmiştik. Bu deneylerin şu anda –ya da ileride– yapılabilme olasılığı bulunmamaktadır, ancak bunun nedeni Kuantum Çoklu Evreni'ne içkin bazı

* VII. Bölüm'den hatırlayacağınız gibi, şişme kozmolojisinin gözleme dayanarak çürütülmesi için kuramın sonsuz sayıda evreni birbiriyle kıyaslayabilen bir yönteme bağlı olması gerekir – ki böyle bir yöntem henüz geliştirilmiş değildir. Ancak, kuramın uygulayıcılarının çoğu hem fikirdir ki kurama göre Şişme Evreli Çoklu Evren'de mikrodalga fon verilerini doğrulayan bir baloncuk evren olsa bile, söz gelimi, bu verilerin Şekil 3.4'te gösterilenden farklı olması durumunda kurama duydukları güveni yitireceklerdir.

özelliklerin bu deneylerin yapılmasına imkân vermemesi değil, bu deneylerin inanılmaz derecede zor olmasıdır.

Holografik Çoklu Evren yerleşik kuramlardan –genel görelilik ve kuantum mekaniğinden– yola çıkmakta ve en güçlü kuramsal desteğini sicim kuramından almaktadır. Holografiye dayanan hesaplamalar Göreli Ağır İyon Çarpıştırıcısı'nda elde edilen sonuçlara kısmen yakın değerler vermektedir. Bütün belirtiler bu tür deneysel ilintilerin gelecekte çok daha güçleneceğini göstermektedir. Holografik Çoklu Evren modelini yararlı matematiksel bir araç ya da holografik bir gerçekliğin kanıtı olarak kabul etmek size kalmıştır. Daha iddialı fiziksel çıkarımlarda bulunabilmek için gelecekteki kuramsal ve deneysel çalışmaları beklemeliyiz.

Benzetimli Çoklu Evren herhangi bir kuramsal yapıya değil, daha çok hesaplama gücünün amansız yükselişine dayanmaktadır. Temel sav, bilincin yalnızca belli bir organın –beynin– tekelinde olmadığı, çeşitli bilgi işlem süreçlerinden doğan bir nitelik olduğudur. Bu, destekleyen ya da karşı çıkan her iki görüşün de kendine göre güçlü savlar öne sürebileceği son derece tartışmalı bir öneridir. Belki gelecekte hem insan beyni hem de bilincin doğası üzerine yürütülecek araştırmalar kendi kendine düşünebilen makineler fikrini de silecektir. Belki de tam tersi olacaktır. Yine de bu çoklu evren önerisini değerlendirecek bir yöntem var. Günün birinde gelecek kuşaklar inandırıcı bir benzetimli dünyayı gözlemler, bu dünyayla etkileşime girer ya da benzetimli bu dünyanın bir parçası olurlarsa, o zaman bu mesele mümkün olan bütün somut biçimlerde çözülmüş olacaktır.

Benzetimli Çoklu Evren, en azından kuramsal olarak, Sonbiçim Çoklu Evren'in yalnızca hesaplanabilir matematiksel yapılara dayanan evrenleri içeren, indirgenmiş bir versiyonuyla da ilişkilendirilebilir. Sonbiçim Çoklu Evren modelinin gelişkin versiyonundan farklı olarak, bu daha sınırlı versiyonun iddia olmanın ötesine giden bir yaratılış hikâyesi vardır. Benzetimli Çoklu Evren kapsamındaki gerçek ya da sanal kullanıcılar, tanım gereği, hesaplanabilir matematiksel yapıların benzetimini yapıyor

olacaklar, dolayısıyla Sonbiçim Çoklu Evren'in bu kısmını yaratacak kapasiteye sahip olacaklar.

Tüm bu çoklu evren önerilerinin geçerliliğine dair deneysel ve gözlemsel kavrayış geliştirme çabasının neredeyse nafile olduğu şüphe götürmez. Ancak imkânsız da değildir. Olası kazanımların büyüklüğüyle birlikte düşünürsek, kuramsal araştırmaların doğal seyri bizi çoklu evrenlerin keşfine götürüyorsa, bize düşen, bu patikayı takip edip nereye götürdüğünü görmektir.

Çoklu Evrenler Bilimsel Açıklamanın Doğasını Nasıl Etkiler?

Bilim bazen ayrıntılara odaklanır. Bize, gezegenlerin neden eliptik bir yörüngede döndüğünü, gökyüzünün neden mavi olduğunu, suyun neden şeffaf olduğunu, masamın neden katı olduğunu anlatır. Bunlar ne kadar bildik gerçekler olursa olsun, harikulade olan onları açıklayabilmiş olmamızdır. Bazen de bilim olgulara daha geniş bir açıdan bakar. Bilim, içinde birkaç yüz milyar yıldız bulunan bir gökadada yaşadığımızı ortaya koydu; gökadamızın yüz milyarlarca gökadadan biri olduğunu saptadı; bu geniş arenanın her noktasında bir türlü göremediğimiz kara enerjinin dolaşmakta olduğunu gösteren kanıtlar sundu. Sadece yüz yıl öncesine, yani evrenin durağan olduğunun ve içinde bir tek Samanyolu Gökadası'nın bulunduğunun düşünüldüğü bir zamana dönüp bakacak olursak, bilimin kaydettiği olağanüstü gelişmeyi haklı olarak kutlayabiliriz.

Bilim bazen başka bir şey yapar. Bizi bilimin kendisine dair görüşlerimizi tekrar gözden geçirmeye sevk eder. Yüzlerce yıldır benimsenen mutat bilimsel çerçeve, fizikçilerin fiziksel sistemleri tanımlarken üç şeyi belirlemeleri gerektiğini öngörür. Bu üç şeyi farklı bağlamlarda gördük, ama burada üçünü bir araya getirmek yararlı olacaktır. Birincisi, ilgili fizik yasalarını tanımlayan matematiksel denklemlerdir (Bunlar, örneğin, Newton'un hareket yasaları, Maxwell'in elektrik ve manyetizma denklemleri, Schrödinger'in kuantum mekaniği denklemi olabilir.). İkincisi, doğanın matematiksel denklemlerde yer alan tüm sabitlerinin

sayısal değerleridir (örneğin, kütleçekiminin ve elektromanyetik kuvvetlerin kendi öz şiddetlerini belirleyen sabitler ya da temel parçacıkların kütlelerini belirleyen sabitler). Üçüncüsü, fizikçilerin sistemin "başlangıç koşulları"nı belirlemesi gerekir (örneğin, belli bir noktadan fırlatılan beyzbol topunun belli bir yöndeki belli bir hızı ya da bir elektronun yüzde 50 olasılıkla Grant's Tomb'da ve yüzde 50 olasılıkla Strawberry Fields'te bulunması gibi). Sonra denklemler de takip eden zamanlarda şeylerin nasıl olacağını belirler. Hem klasik fizik hem de kuantum fiziği uygulamalarını bu çerçevede yürütür. Tek fark, klasik fiziğin herhangi bir zaman biriminde belli bir şeyin nasıl olacağını tam olarak söylediğini iddia etmesi, kuantum fiziğinin ise herhangi bir şeyin şu ya da bu biçimde olma olasılığını belirtmesidir.

Fırlatılan bir topun nereye düşeceği ya da bir elektronun bir bilgisayar çipinde (ya da Manhattan'ın maketinde) nasıl hareket edeceği söz konusu olduğunda, bu üç-aşamalı süreç gayet başarılı işler. Ancak, iş gerçekliği bir bütünlük içinde tanımlamaya gelince, bu üç aşamalı süreç bizi bazı temel şeyleri sorgulamaya götürür: Başlangıç koşullarını –olguların evrenin ilk anlarındaki durumlarını– açıklayabilir miyiz? Yasaların dayandığı sabitlerin değerlerini –parçacık kütleleri, kuvvet şiddetleri vb.– açıklayabilir miyiz? Belli bir matematiksel denklem grubunun neden fiziksel evrenin şu ya da bu yönünü tanımladığını açıklayabilir miyiz?

Şu ana kadar ele aldığımız çoklu evren modelleri, bu sorulara bakış açımızı kökten değiştirme potansiyeline sahiptir. Kapitone Çoklu Evren'deki her bir evrende fizik yasaları aynıdır, ancak parçacık düzenlemeleri değişir; şu anki farklı parçacık düzenlemeleri geçmişteki farklı başlangıç koşullarına işaret eder. Bu nedenle, bu tür bir çoklu evren söz konusu olduğunda, kendi evrenimizdeki başlangıç koşullarının neden şu ya da bu biçimde olduğu sorusuna bakış açımız da değişecektir. Başlangıç koşulları evrenden evrene değişebilir ve genellikle de değişecektir, bu yüzden parçacık düzenlemelerinin dayandığı temel bir açıklama yoktur. Böyle bir açıklama istemek yanlış soruyu sormak olur; çoklu evren yapısına tek evren anlayışıyla bakmak anla-

mına gelir. Bunun yerine, bu çoklu evrende bir yerlerde parçacık düzenlemesi, dolayısıyla, başlangıç koşulları burada gördüklerimize uyan bir evren bulunup bulunmadığını sormamız gerekir. Dahası, bu gibi evrenlerin sayıca çok olduğunu gösterebilir miyiz? Böyle evrenler sayıca çoksa, başlangıç koşullarına ilişkin soruların yanıtı bir omuz silkme olacaktır; böyle bir çoklu evrende bizim evrenimizin başlangıç koşulları, New York'taki bir ayakkabı mağazasında sizin ayakkabı numaranıza uygun bir ayakkabı bulunması gerçeğinin gerektirdiği bir açıklamadan daha fazlasını gerektirmeyecektir.

Şişme Evreli Çoklu Evren'de doğanın "sabitleri" bir baloncuk evrenden diğer baloncuk evrene farklılıklar gösterecektir. III. Bölüm'den hatırlarsanız, çevresel farklılıklar –her baloncuktaki farklı Higgs alan değerleri– farklı parçacık kütlelerine ve kuvvet özelliklerine yol açıyordu. Aynı durum Zar Çoklu Evren, Döngüsel Çoklu Evren ve Manzara Çoklu Evren için de geçerlidir. Manzara Çoklu Evreni'nde, alan ve akılardaki çeşitli farklılıklarla birlikte sicim kuramının ekstra boyutlarının biçimi –elektronun kütlesinden tutun, bir elektronun hatta bulunup bulunmadığına, elektromanyetizmanın şiddetine, bir elektromanyetik kuvvet olup olmadığına, kozmolojik sabitin değerine vb. kadar– farklı özellikte evrenlerin oluşmasına yol açmaktadır. Bu tür çoklu evrenler bağlamında, ölçtüğümüz parçacık ve kuvvet özelliklerinin açıklamasını istemek de yine yanlış türden bir soru sormak olacaktır; bu da süreçlere yine tek evren anlayışı ile bakmak demektir. Bunun yerine, bu çoklu evrenlerden herhangi birinde bizim ölçtüğümüz değerlere sahip bir evrenin bulunup bulunmadığını sormamız gerekir. Daha da iyisi, bizim evrenimizin özelliklerine benzer özellikler taşıyan evrenlerin sayısının çok olduğunu ya da en azından, bildiğimiz anlamda yaşamı destekleyen tüm evrenler içinde sayısının çok olduğunu göstermek olurdu. Shakespeare'in *Macbeth*'i yazarken neden başka sözcükleri değil de seçtiği sözcükleri kullandığını sormak ne kadar anlamsızsa, denklemlerden bizim kendi evrenimizde gördüğümüz fiziksel özelliklerin değerlerini seçmesini beklemek de o denli anlamsız olacaktır.

Benzetimli ve Sonbiçim Çoklu Evrenler ise bambaşka bir konudur; belli bir fizik kuramından kaynaklanmazlar. Ancak bu çoklu evrenler de sorularımızın doğasını değiştirme potansiyeli taşıyor. Bu çoklu evrenlerde, her bir evreni yöneten matematik yasaları farklıdır. Aynen farklı başlangıç koşullarında ve doğa sabitlerinde olduğu gibi, farklı yasalar da neden burada bu yasaların geçerli olduğuna dair bir açıklama istemenin mantıksızlığına işaret etmektedir. Farklı evrenlerin farklı yasaları olacaktır; biz kendi evrenimizde belli birtakım yasaları izliyoruz çünkü bu yasalar bizim varoluşumuzla bağlantılı olan yasalardır.

Tablo 11.1.'de özetlediğimiz çoklu evren önerilerine toplu olarak baktığımızda, bunların tek evren ortamında son derece anlaşılmaz olan standart bilimsel çerçevenin üç temel özelliğini sıradanlaştırdığını görmekteyiz. Muhtelif çoklu evrenlerde başlangıç koşullarının, doğa sabitlerinin, hatta matematik yasalarının açıklanmasına artık gerek yoktur.

Matematiğe İnanmalı mıyız?

Nobel ödüllü Steven Weinberg bir zamanlar şöyle yazmıştı: "Hatamız, kuramlarımızı fazla ciddiye almak değil, yeterince ciddiye almamaktır. Üzerinde kâğıt kalemle masa başında çalıştığımız rakamların ve denklemlerin aslında gerçek dünyayla ilgili olduklarını anlamamız hep zor olmuştur."[1] Weinberg, bunları söylerken kozmik mikrodalga fon ışınımıyla ilgili olarak Ralph Alpher, Robert Herman ve George Gamow'un III. Bölüm'de değindiğim çığır açan sonuçlarına gönderme yapıyordu. Öngörülen ışınım, temel kozmolojik fizikle birleşen genel göreliliğin dolaysız sonucu olmasına rağmen, on yıl arayla iki kez kuramsal olarak keşfedildikten ve cömert tesadüflerle gözlendikten sonra önemli bir bilgi olarak kabul görmüştür.

Weinberg'in masası gerçek dünyayla ilintisi kanıtlanan haddinden fazla miktarda matematiğe ev sahipliği yapmış olsa da biz kuramcıların kurcaladığı her denklem bu mertebeye erişmekten çok uzaktır. İkna edici deneysel ya da gözlemsel sonuçlar olma-

dan, hangi matematiğin ciddiye alınması gerektiğine karar vermek bir bilim olduğu kadar sanattır da.

Gerçekten de bu mesele, kitabın tümünde ele aldığımız konular açısından son derece önemlidir ve bu kitabın adının belirlenmesinde de etkili oldu. Tablo 11.1.'de özetlediğimiz bütün o çoklu evren önerilerinin enginliği bir saklı gerçeklikler panoraması izlenimi verebilir. Ancak tüm süreçlerin altında yatan özel ve özellikle güçlü bir temayı göstermek için bu panoramayı kitabın adında "saklı gerçeklik" biçiminde tekil olarak kullandım: bu güçlü tema, matematiğin dünyanın işleyişi hakkındaki gizli gerçekleri ortaya çıkartma kapasitesidir. Keşiflerle dolu yüzyıllar fazlasıyla açıklığa kavuşturmuştur ki fizikteki büyük devrimler çoğunlukla matematiğin öncülüğünde gerçekleşmiştir. Einstein'ın matematikle anlaşılması güç dansı bunu gözler önüne seren bir örnektir.

1800'lü yılların sonunda James Clerk Maxwell ışığın bir elektromanyetik dalga olduğunu fark ettiğinde, denklemleri ışık hızının saniyede 300.000 kilometre –deneylerde ölçülenlere çok yakın bir değer– olması gerektiğini göstermişti. Ancak denklemlerinde şu sorunun yanıtı yoktu: Neye göre saniyede 300.000 kilometre? Bilim insanları, uzayı kaplayan görünmez bir maddenin, "esir" (aether) adını verdikleri maddenin, görünmeyen bir hareketsizlik standardı oluşturduğunu ileri sürerek geçici bir çözümün peşinden gittiler. Ancak yirminci yüzyılın başlarında Einstein, araştırmacıların Maxwell'in denklemlerini daha ciddiye almaları gerektiğini öne sürdü. Maxwell'in denklemleri bir hareketsizlik standardına atıfta bulunmadıysa, bir hareketsizlik standardına gerek yoktu; Einstein'ın ısrarla söylediği gibi, ışık hızı *her şeye* göre saniyede 300.000 kilometredir. Ayrıntıların tarihsel önemi olsa da ben bu olayı önemli bir noktaya dikkat çekmek için anlatıyorum: Herkesin Maxwell'in matematiğine erişimi vardı ama bu matematiği tam olarak kavramak için Einstein'ın dehası gerekti. Bu hamleyle Einstein özel görelilik kuramını geliştirdi ve uzay, zaman, madde ve enerjiye dair yüzlerce yıllık düşünceyi altüst etti.

Takip eden on yıl süresince Einstein, genel görelilik kuramını geliştirirken, çağdaşı fizikçilerin çok az bildiği ya da hiç bilmediği matematik alanlarına çok aşina olmuştu. Genel göreliliğin artık son denklemlerini yazarken sağlam fizik sezgisiyle bu matematiksel yapıları son derece usta biçimde bağdaştırabilir duruma gelmişti. Birkaç yıl sonra, 1919'da güneş tutulması, genel göreliliğin yıldızların ışığının eğri bir yol izlemesi gerektiği öngörüsünü doğrulayınca, Einstein kendinden emin bir şekilde şöyle diyecekti: "Eğer sonuçlar farklı çıksaydı sevgili Tanrı adına üzüntü duyardım çünkü kuramım doğru." Genel görelilikle çatışan ikna edici verilerin Einstein'ın fikirlerini değiştireceğinden eminim, fakat onun bu sözleri, bir matematiksel denklemler dizisinin kendi pürüzsüz içi mantığıyla, kendi içkin güzelliğiyle ve geniş uygulanabilirlik potansiyeliyle gerçekliği nasıl tanımladığını çok iyi ifade ediyor.

Ne var ki Einstein'ın kendi matematiğini mutlak bir şekilde takip etmesinin de bir sınırı vardı. Einstein genel görelilik kuramını, kara deliklere ya da evrenin genişlemesine dair öngörülerine inanacak kadar ciddiye almamıştı. Daha önce gördüğümüz gibi, Friedmann, Lemaître ve Schwarzschild gibi bilim insanları Einstein'ın denklemlerini kendisinden daha fazla benimseyerek kozmolojik anlayışa neredeyse bir asır boyunca hakim olacak yeni bakış açıları kazandırdılar. Buna karşılık, Einstein, yaşamının aşağı yukarı son yirmi yılı boyunca birleşik bir fizik kuramı yaratma amacıyla kendini tümüyle matematiksel araştırmalara verdi. Şu an bildiklerimizle bu çalışmalara baktığımızda, o dönemlerde Einstein'ın sürekli uğraştığı denklemlerin etkisinde *fazlasıyla* kaldığı söylenebilir –bu denklemlerin onun gözlerini bağladığını söyleyenler de olabilir. O halde, Einstein bile yaşamının çeşitli dönemlerinde hangi denklemleri ciddiye alması hangilerini almaması gerektiği konusunda yanlış kararlar vermiştir.

Modern kuramsal fizikteki üçüncü devrim olan kuantum mekaniği ise bu kitapta anlattığım öyküyle doğrudan ilintili olan bir diğer konudur. Schrödinger kuantum dalgalarının nasıl evrildiğini gösteren denklemini 1926'da yazmıştı. Uzun bir süre,

bu denklemin yalnızca moleküller, atomlar, parçacıklar gibi küçük şeylerin sahasıyla ilgili olduğu düşünüldü. Ancak 1957'de Hugh Everett, Einstein'ın yarım yüzyıl önce verdiği Maxwellci emri tekrar etti: *Matematiği ciddiye al!* Everett, Schrödinger'in denkleminin her şeye uygulanması gerektiğini öne sürdü çünkü büyüklüğü önemli olmaksızın, maddi olan her şey moleküllerden, atomlardan ve atomaltı parçacıklardan oluşur. Yukarıda gördüğümüz gibi, bu bakış açısı Everett'i kuantum mekaniğinin Çoklu Dünyalar yaklaşımına ve Kuantum Çoklu Evreni anlayışına götürdü. Elli yıldan fazla bir süre sonra, Everett'in yaklaşımının doğru olup olmadığını hâlâ bilmiyoruz. Ama kuantum kuramının dayandığı matematiği ciddiye –tam anlamıyla ciddiye– alarak Everett bilim dünyasının en önemli buluşlarından birini yapmış olabilir.

Diğer çoklu evren modelleri de aynı şekilde, matematiğin gerçekliğin yapısına sıkıca tutturulmuş olduğu görüşüne dayanır. Sonbiçim Çoklu Evren bu görüşü en uç noktada benimser ve matematiğin kendisinin gerçeklik olduğunu söyler. Matematik ve gerçeklik arasındaki bağa dair görüşleri bu kadar kapsayıcı olmasa bile Tablo 11.1.'de özetlenen diğer çoklu evren modelleri de varlıklarını sayılara ve denklemlere borçludur –masalarında kafa yoran, defterlerine ya da kara tahtalarına yazıp duran ya da bilgisayarları programlayan kuramcıların ürettiği sayılara ve denklemlere. Tablo 11.1.'deki önerilerin her biri, ister genel göreliliği, ister kuantum mekaniğini, sicim kuramını ya da geniş anlamda matematiksel kavrayışı öne çıkartsınlar, matematiksel kuramlar geliştirmenin bize saklı hakikatleri bulmada rehberlik edebileceği varsayımımızdan doğmuşlardır. Bu varsayımın önerilerin altında yatan matematiksel kuramları fazla mı ciddiye aldığını ya da belki de yeterince ciddiye almadığını zaman gösterecektir.

Bizi paralel dünyalar üzerinde düşünmeye sevk eden matematiğin hepsinin veya bir kısmının gerçeklikle ilişkisi kanıtlanırsa, Einstein'ın meşhur sorusunun, yani evrenimiz sahip olduğu özelliklere sırf başka evrenler mümkün olmadığı için mi sahiptir sorusunun yanıtı kati bir "hayır" olacaktır. Evrenimiz, mümkün

olan tek evren değildir. Özellikleri çok farklı olabilirdi. Pek çok çoklu evren önerisinde, o çoklu evreni oluşturan diğer evrenlerin özellikleri de farklı *olacaktır*. O halde, belli şeylerin neden oldukları gibi olduklarının esastan bir açıklamasını aramak anlamsızdır. Bunun yerine, istatistiksel olabilirlik ya da basit rastlantıyı kozmos kavrayışımıza –olağanüstü geniş bir kozmos– kararlı bir şekilde dahil edebiliriz.

Ulaşacağımız sonuç bu mudur bilmiyorum. Kimse bilmiyor. Fakat sadece yılmadan çalıştığımız takdirde kendi sınırlarımızı keşfedebiliriz. Sadece kuramların peşinde akılcı bir şekilde koştuğumuz takdirde –bizi garip, alışılmadık diyarlara götüren kuramların bile– gerçekliğin enginliğini gözler önüne serebiliriz.

Notlar

I. Bölüm: Gerçekliğin Sınırları

1. Evrenimizin daha yüksek boyutlu bir bölgede yer alan bir dilim olup olmadığı sorusu, tanınmış iki Rus fizikçinin yazdığı, ancak sicim kuramıyla ilişkili olmayan bir makaleye kadar uzanır: "Do We Live Inside a Domain Wall?," V. A. Rubakov ve M. E. Shaposhnikov, *Physics Letters B* 125 (26 Mayıs, 1983): 136. Benim V. Bölüm'de ele alacağım versiyon ise 1990'ların ortalarında sicim kuramında kaydedilen gelişmelere dayanmaktadır.

II. Bölüm: Sonsuz Eş-Varoluşlar

1. Bu sözler *The Literary Digest* dergisinin Mart 1933 sayısından aktarılmıştır. Şunu belirtmek gerekir ki Danimarkalı bilim tarihçisi Helge Kragh yakın zamanda bu sözlerin doğruluğunu sorgulamıştır (bkz. *Cosmology and Controversy*, Princeton: Princeton University Press, 1999). Kragh bu sözlerin aynı yıl içinde daha önceki bir tarihte *Newsweek* dergisinde yayınlanan, Einstein'ın kozmik ışınların kökeninden söz ettiği haberin yeniden yorumlanması olabileceğini ileri sürmektedir. Ancak şurası kesin ki o yıla gelindiğinde Einstein evrenin durağan olduğu fikrinden vazgeçmiş, kendi genel görelilik kuramının denklemlerine dayanan dinamik kozmoloji düşüncesini benimsemişti.

2. Bu yasa bize, kütleleri m_1 ve m_2, kütle merkezleri arasındaki uzaklık r olan iki cisim arasındaki kütleçekimi kuvvetini (F) vermektedir. Bu yasa matematiksel olarak şöyle ifade edilir: $F = Gm_1m_2/r^2$dir. G, Newton'un sabiti, yani evrensel kütleçekimi sabiti olarak kullanılan ve deneysel olarak ölçülmüş sayıdır.

3. Matematik bilgisi olan okur için Einstein'ın denklemleri $R_{uv} - \frac{1}{2} g_{uv} R = 8\pi G T_{uv}$ biçimindedir. Burada g_{uv} uzay-zaman metriği, R_{uv} Ricci eğrilik tensörü, R skaler eğrilik, G Newton'un sabiti, T_{uv} ise enerji-momentum tensörüdür.

4. Genel göreliliğin bu şekilde doğrulanmasından sonraki on yıllar boyunca, bu sonuçların güvenilirliğine ilişkin sorular hep sorulmuştur. Güneşin yakınından geçen uzak bir yıldız ışığının görülebilmesi için gözlemlerin güneş tutulması sırasında yapılması gerekiyordu. 1919'daki güneş tutulmasındaysa ne yazık ki kötü hava koşulları net fotoğraflar çekilmesini zorlaştırdı. Burada soru şudur, Eddington ve ekip arkadaşları, varmak istedikleri sonuca yönelik önyargıyla davranmış olabilirler mi? Hava koşulları nedeniyle güvenilir olmadığını düşündükleri fotoğrafları ayıkladıklarında Einstein'ın kuramına uymayacak gibi gözüken verileri içeren, orantısız sayıda fotoğrafı göz ardı ettiler mi? Daniel Kennefick tarafından yürütülen yeni ve titiz bir çalışma genel göreliliğin 1919'daki bu doğrulanmasının gerçekten güvenilir olduğunu ikna edici bir şekilde ortaya koymaktadır (bkz. www.arxiv.org, arXiv:0709.0685 numaralı makale. Bu çalışma, başka değerlendirmelerinin yanı sıra, 1919'da çekilen fotoğrafların modern teknolojiye göre yeniden değerlendirmesini de yapmaktadır).

5. Matematik bilgisi olan okur için, Einstein'ın genel görelilik denklemleri bu çerçevede şu biçime iner:. $\left(\frac{da/dt}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{k}{a^2}$. $a(t)$ değişkeni evrenin ölçek çarpanıdır – adından da anlaşılacağı gibi, bunun değeri cisimler arasındaki uzaklık ölçeğini belirten bir sayıdır (iki farklı zamanda $a(t)$'nin değeri, söz gelimi 2 kat değişirse, bu zaman aralığı için herhangi iki gökada arasındaki uzaklık da 2 kat değişecektir), G Newton'un sabiti; ρ madde/enerjinin yoğunluğudur, k ise uzayın biçiminin küresel, Öklid ("düz") ya da hiperbolik olup olmadığına bağlı olarak değeri 1, 0 ya da -1 olabilen bir parametredir.

Genellikle Alexander Friedmann'a mal edilen bu denkleme Friedmann denklemi adı verilmektedir.

6. Matematik bilgisi olan okur iki noktaya dikkat etmelidir. Birincisi, genel görelilikte koordinatları genelde bizzat uzaydaki maddelere bağlı olarak tanımlıyoruz: Koordinat taşıyıcılar olarak gökadaları kullanıyoruz (sanki her gökadanın kendi üzerine çizilmiş ve onunla birlikte hareket eden belli koordinatlar varmış gibi). Bu nedenle, uzayın belli bir alanını belirlemek için bile, o bölgede bulunan maddeleri dikkate alıyoruz. O zaman, metni daha açık ifade etmek gerekirse, t_1 anında, içinde belirli N tane gökadalar grubu barındıran uzayın bir bölgesi, daha sonraki bir t_2 anında daha geniş bir hacme sahip olacaktır. İkincisi, uzay genişlediğinde ya da büzüldüğünde madde ve enerji yoğunluğunun da değiştiğine ilişkin sezgisel çıkarım, madde ve enerjinin durum denklemlerine dayanmaktadır. Az sonra göreceğimiz gibi, uzayın genişleme ya da büzülme durumlarında belli bir enerji yoğunluğunun değişmeden kaldığı kabul edilen örnekler –kozmolojik sabitin enerji yoğunluğu– bulunmaktadır. Ayrıca, enerji yoğunluğu *artarken* de uzayın genişlediği daha uç senaryolar vardır. Bu mümkündür, çünkü bazı durumlarda kütleçekimi bir enerji kaynağı olabilir. Paragraftaki önemli nokta şudur: İlk biçimleriyle genel görelilik denklemleri durağan bir evren için uygun değildir.

7. Az sonra göreceğimiz gibi, Einstein, evrenin genişlediğine ilişkin gökbilimsel verileri görünce durağan evren düşüncesinden vazgeçmiştir. Fakat Einstein'ın durağan evren hakkındaki şüphelerinin bu verilerin öncesine uzandığını da belirtmek gerekir. Fizikçi Willem de Sitter, Einstein'ın durağan evreninin kararsız olduğunu işaret etmişti: genişletecek küçük bir müdahalede bulunulursa genişleyecek, tersi bir müdahalede büzülecektir. Fizikçiler, kusursuz ve değişmez şartlar gerektiren çözümlere kuşkuyla yaklaşırlar.

8. Büyük patlama modelinde, uzayın dışa doğru genişlemesi, aynen yukarı fırlatılan bir topun hareketi gibi düşünülür: kütleçekimi kuvveti yukarı doğru fırlatılan topa etkiyerek topun hareketini yavaşlatır; benzer biçimde, bu kütleçekimi dışa doğru genişleyen gökadalara da etkiyerek hareketlerini yavaşlatır. Her iki durumda da süren bir hareketin herhangi bir itme kuvvetine ihtiyacı yoktur. Ancak şu soruyu sorabilirsiniz: Topu yukarı fırlatan kolunuzun kuvvetidir. Peki evrenin dışa doğru genişlemesine neden olan kuvvet nedir? III. Bölüm'de bu soruya döneceğiz ve modern kuramın, kozmik geçmişimizin ilk anlarında meydana gelen ani itici kütleçekimiyle ilgili açıklamalarını ele alacağız. Ayrıca, yapılan hassas gözlemlerle elde edilen verilere göre, uzayın genişlemesinin zaman içinde yavaşlamadığını, kozmolojik sabitin –daha sonraki bölümlerde ayrıntılı biçimde açıklayacağımız gibi– şaşırtıcı biçimde sahneye geri döndüğünü göreceğiz.

Uzayın genişlemesinin keşfi modern kozmolojide bir dönüm noktasıdır. Hubble'ın katkılarının yanı sıra, Vesto Slipher, Harlow Shapley ve Milton Humason gibi pek çok kişinin katkıları elde edilen başarıda önemli rol oynamıştır.

9. İki boyutlu bir torus genellikle halka çörek şeklinde resmedilir. İki aşamalı bir süreç bu görüntünün metindeki tanımla uyum içinde olduğunu gösterir. Ekranın sağ tarafından birden sol tarafına geçtiğinizi söylerken, sağ tarafın tümünün sol tarafla eşlendiğini kabul etmiş oluyoruz. Eğer ekran esnek olsaydı (söz gelimi, ince bir plastikten yapılmış), bu eşlemeyi ekranı silindirik olacak şekilde kıvırıp sağ ve sol kenarlarını yapıştırarak daha gerçek bir hale getirebilirdik. Üst taraftan alt tarafa geçtiğinizi söylerken de bu kenarların yine birbirlerine eşlendiğini ifade ediyoruz. Bu eşlemeyi de daha gerçek bir hale getirmek için az önce elde ettiğimiz silindiri büküp üst ve alt dairesel kenarları birbirine yapıştıralım. Ortaya çıkan şekil bildiğimiz halka çörek benzeri görünüme sahip olacaktır. Ancak bu varsayımların yanıltıcı bir tarafı, torusun yüzeyinin eğimli gözükecek olmasıdır; örneğin, üzerine yansıtıcı bir madde sürüp kendinize bakmanız söz konusu olsa, görüntünüzün gerçeğinden farklı bir biçimde yansıması beklenecektir. Torusun üç boyutlu bir ortamda duran bir cisim gibi tanımlanmasının bir sonucudur bu. Oysa iki boyutlu bir yüzey olarak torus eğri değildir. Video oyunu ekranı örneğinde olduğu gibi, torus düz bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, metinde bu şeklin kenarlarının çiftler halinde eşlenmesi şeklindeki daha temel tanımına odaklandım.

10. Matematik bilgisi olan okur, burada "makul dilimleme ve soyma" derken çeşit-

li ayrık izometri gruplarıyla, birleşmiş örtücü bir uzayın bölümlerini almaktan söz ettiğimi fark edecektir.

11. Belirtilen miktar evrenin şu andaki durumu için geçerlidir. Evrenin ilk durumunda kritik yoğunluk daha yüksekti.

12. Evren durağan olsaydı, son 13,7 milyar yıldır yolculuk etmekte olan ve bize ancak ulaşan ışık, gerçekten de 13,7 milyar ışık yılı uzaklıktan yayılmış olurdu. Oysa genişleyen bir evrende, bu ışığı yayan cisim, ışığı ilk yaydığı andan sonra aradan geçen milyarlarca yıl içinde bizden uzaklaşmaya devam etti. Işık bize ulaştığında, bu nedenle cisim 13,7 ışık yılından çok daha ötelerde bir yerlerde olmalıdır. Genel göreliliğe dayanarak yapılacak bir hesaplama bize cismin şu an tahminen 41 milyar ışık yılı uzaklıkta olduğunu (cismin hâlâ var olduğunu, dolayısıyla, uzayın genişlemesinden etkilenmeye devam ettiğini varsayarsak) gösterecektir. Bu da demektir ki uzayı gözlemlediğimizde bizden 41 milyar ışık yılı uzaklıktaki cisimlerden yayılmış ışıkları görebiliyoruz. Bu mantıkla düşünürsek, gözlemlenebilen uzayın çapı 82 milyar ışık yılı civarında olmalıdır. Bu uzaklıktan ötede yer alan, dolayısıyla, kozmik ufkumuzun ötesindeki cisimlerin yaydıkları ışıkların bize ulaşması için henüz yeterince zaman geçmemiştir.

13. Daha serbest bir dille ifade edersek, bunu gözünüzün önüne getirebilmeniz mümkündür çünkü kuantum mekaniği sebebiyle parçacıklar daima "kuantum titremesi" olarak adlandırdığım bir süreç yaşarlar: Bu kaçınılmaz ve rastgele kuantum titreşimi türü, belirli bir konuma ve hıza (momentuma) sahip parçacık düşüncesini yaklaşık olarak mümkün olan bir duruma çevirir. Bu bağlamda, konum ve hızdaki değişimler öylesine küçüktür ki kuantum titremesinin kuantum mekaniğinin "gürültüsü" içinde kaybolmasına eşdeğer olup bir anlam taşımazlar.

Daha net ifade etmek gerekirse, konum ölçümündeki bir hata oranını hız ölçümündeki bir hata oranıyla çarpacak olursanız, sonuç –belirsizlik– kuantum fiziğinin öncülerinden Max Planck'ın adıyla anılan ve *Planck sabiti* denilen sayıdan daima büyük olacaktır. Buna göre, bir parçacığın konumunun ölçümündeki çözünürlüğün artması (konum ölçümünde küçük bir belirsizlik olması), ister istemez parçacığın momentumunun ölçümünde, dolayısıyla, enerjisinin ölçümünde büyük çaplı belirsizlik anlamına gelecektir. Enerji her zaman sınırlı olduğundan, konum ölçümlerindeki çözünürlük de sınırlı olacaktır.

Şunu unutmamak gerekir ki biz bu kavramları hep sınırlı bir uzamsal alanda kullanıyoruz –yani, bir sonraki bölümde ele alınacağı gibi, günümüzdeki kozmik ufkun içinde kalan alanlar için kullanıyoruz. Büyük de olsa sonuçta sınırlı olan bir uzay alanı, pozisyon ölçümlerinde belirsizliğin maksimum bir değeri olduğu anlamını taşır. Eğer bir parçacığın belli bir bölgede bulunduğu düşünülüyorsa, konumundaki belirsizlik bu bölgenin büyüklüğünden daha fazla olmayacaktır. Konumdaki böylesi yüksek oranda bir belirsizlik, belirsizlik ilkesi gereğince, momentum ölçümlerinde küçük değerli bir belirsizlik –yani momentum ölçümlerinde sınırlı bir çözünürlük– anlamına gelecektir. Böylece, konum ölçümlerindeki sınırlı çözünürlük de göz önüne alınınca, bir parçacığın olası farklı konum ve hız konfigürasyonlarında sonsuz bir sayıdan sonlu bir sayıya düşüş olduğunu görürüz.

Yine de bir parçacığın konumunu daha kesin biçimde ölçebilecek bir yol olup olmadığını merak edebilirsiniz. Bu da enerjiyle yakından ilgilidir. Metinde belirtildiği gibi, bir parçacığın konumunu daha kesin biçimde belirlemek isterseniz, ona göre son derece hassas bir ölçüm aleti kullanmanız gerekir. Bir sineğin odada olup olmadığını görmek için her gün kullandığımız sıradan bir ışığı açabilirsiniz. Bir elektronun boş bir hacimdeki yerini görmek için güçlü bir lazerin keskin ışınıyla bakmanız gerekir. Bu elektronun konumunu çok daha kesin biçimde belirlemek isterseniz, o zaman çok daha güçlü bir lazer ışınına ihtiyaç duyacaksınız. Şimdi, eğer elektrona çok daha güçlü bir lazer ışını uygularsanız, bu ışın elektronun hızını önemli ölçüde değiştirir. Bu nedenle, uzun lafın kısası, parçacıkların konumlarını belirleme konusunda kesinliğe ulaşmak isterken, parçacıkların hızlarında büyük değişikliklere neden olursunuz; bu da parçacıkların enerjilerinde büyük değişiklik anlamına gelir. Eğer parçacıkların ne kadar enerji barındırabile-

ceği konusunda bir sınır varsa, her zaman olacağı gibi, konumlarının ne kadar kesin belirlenebileceği konusunda da bir sınır vardır.

Sınırlı uzamsal alandaki sınırlı bir enerji bize hem konum hem de hız ölçümleriyle ilgili sonlu bir çözünürlük verir.

14. Bu hesaplamayı yapmanın en kestirme yolu, IX. Bölüm'de teknik olmayan terimlerle tanımladığım sonuca başvurmaktır: bir kara deliğin entropisi –ayrı kuantum durumlarının sayısının logaritması– bu kara deliğin Planck birimi karesiyle ölçülen yüzey alanıyla orantılıdır. Kozmik ufkumuzu dolduran bir kara deliğin yarıçapı 10^{28} santimetre civarında ya da ortalama 10^{61} Planck uzunluğunda olacaktır. Bu durumda, entropisi de Planck kare biriminde yaklaşık olarak 10^{122} değerinde bulunacaktır. Böylece, farklı durumların toplam sayısı ortalama 10 üzeri 10^{122} ya da $10^{10^{122}}$ biçiminde ifade edilecektir.

15. Alanları neden dahil etmediğimi de merak ediyor olabilirsiniz. Göreceğimiz gibi parçacıklar ve alanlar birbirlerini tamamlayan anlatımlardır –bir alan kendini oluşturan parçacıkların türünden ifade edilebilir, tıpkı bir okyanus dalgasının kendini oluşturan su molekülleriyle ifade edilebilmesi gibi. Parçacık ya da alan anlatımlarından hangisini kullanacağınız tercihe bağlıdır.

16. Belli bir zaman aralığında ışığın ne kadar yol alabileceği, uzayın genişleme hızına hassasiyetle bağlıdır. Daha sonraki bölümlerde uzayın genişleme hızının arttığına yönelik kanıtları göreceğiz. Bu durumda, rastgele uzun bir süre bekleyelim desek bile, ışığın uzayda ne kadar uzağa yol alabileceğinin bir sınırı vardır. Uzayın uzak bölgeleri bizden öylesine hızla uzaklaşıyor olabilir ki bizden yayılan ışık onlara hiç ulaşamayabilir; benzer biçimde, onlardan yayılan ışık da bize hiç ulaşmayabilir. Bu anlamda, kozmik ufuklar –ışık sinyallerini alıp verebileceğimiz uzay alanı– sonsuza kadar genişleyemeyecektir. (Matematik bilgisi olan okur için temel formüller VI. Bölüm'de 7. notta verilmektedir.)

17. G. Ellis ve G. Bundrit, kopya bölgeleri (duplicate realms) klasik sonsuz bir evrende incelemişlerdir. J. Garrigave A. Vilenkin de bu bölgeleri kuantum bağlamında ele alan çalışmalar yapmışlardır.

III. Bölüm: Sonsuzluk ve Sınırsızlık

1. Önceki çalışmalardan ayrılan noktalardan biri Dicke'in bakış açısıydı. Bu bakış açısı, bir dizi döngü içinde –büyük patlama, genişleme, büzülme, büyük çöküş, tekrar büyük patlama– salınan bir evren olasılığına odaklanıyordu. Her bir döngüde uzayı kaplayan ışınım kalıntıları olmalıydı.

2. Şunu belirtmek gerekir ki jet motorları olmasa bile gökadalar uzayın genişlemesinin ötesinde bazı hareketler gösterirler –bu hem büyük mesafe ölçeklerinde gökadalar arası kütleçekimsel kuvvetin hem de gökadalardaki yıldızları meydana getiren gaz bulutu girdabının kendi hareketinin sonucudur. Bu harekete *özgün hız* adı verilir ve genellikle de kozmolojik çalışmalarda bir soruna neden olmadan göz ardı edilebilecek ölçüde küçük değerdedir.

3. Ufuk problemi hassasiyet gerektiren bir konudur. Benim şişme kozmolojisi çerçevesindeki çözüme dair açıklamam ise standardın biraz dışında kalıyor. Bu nedenle, ilgi duyabilecek okur için biraz ayrıntıya girebilirim. Öncelikle tekrar probleme dönelim: Gece gökyüzünde, birbirlerinden çok uzakta oldukları için hiç iletişimde bulunmamış iki bölge düşünün. Varsayalım, her iki bölgede de o bölgenin sıcaklığını belirleyen termostatları kontrol eden iki gözlemci olsun. Bu gözlemciler her iki bölgede de sıcaklığın aynı olmasını istemekte, ancak birbirleriyle iletişim kuramadıkları için, termostatlarını hangi dereceye ayarlayacaklarını bilememektedirler. Doğal olarak düşünebilirsiniz ki milyarlarca yıl önce bu gözlemciler birbirlerine daha yakındılar, bu yüzden de birbirleriyle iletişime geçmeleri ve iki bölgenin eşit sıcaklığa sahip olmasını sağlamaları kolay olacaktı. Ancak, ana metinde belirttiğimiz gibi, standart büyük patlama kuramında bu akıl yürütme başarısızlığa uğrar. Nedenini biraz daha açıklayalım. Standart büyük patlama modelinde evren genişlemektedir. Ancak kütleçekiminin çekim kuvveti nedeniyle, zaman içinde bu genişlemenin *hızı* azalır. Bir topu havaya fırlattığınızda buna çok benzeyen bir

şey olur. Topun yükselişi sırasında ilk başta sizden daha çabuk uzaklaşır, ama kütleçekimi nedeniyle hızı sürekli azalır. Uzayın genişlemesindeki yavaşlamanın önemli bir etkisi vardır. Temel fikri yine fırlatılan top örneğiyle açıklayacağım. Topun fırlatıldıktan sonra altı saniye süreyle yükseldiğini düşünün. Top, fırlattığınız an daha çabuk yol aldığından, bu yolun ilk yarısını sadece iki saniyede alabilir, ancak süratindeki azalma nedeniyle, yolun ikinci yarısını alması dört saniye daha alır. Demek ki tüm sürenin yarısına karşılık gelen anda, yani üçüncü saniyede yolun yarısını gösteren bir işaretten *ötede* bir noktaya ulaşmış olur. Benzer biçimde, zamanla yavaşlayan bir uzaysal genişlemeyle kozmik geçmişin yarısına karşılık gelen anda, bizim iki gözlemcimiz, aralarındaki şu anki uzaklığın yarısından *fazla* bir uzaklık kadar birbirilerinden ayrılmış olurlar. Bunun ne anlama geldiğini bir düşünelim. İki gözlemci birbirlerine bugüne göre daha yakın olsalar da iletişimde bulunmanın daha kolay değil, daha zor olduğunu fark edeceklerdir. Bir gözlemcinin gönderdiği sinyallerin diğer gözlemciye ulaşması için kozmik geçmişin yarısı kadar bir zamanı olacaktır, ancak sinyallerin katetmesi gereken uzaklık bugünkünün yarısından *fazla* olacaktır. Aralarındaki şu anki uzaklığın yarısından fazlası bir mesafeyi aşarak iletişimde bulunmak için kozmik geçmişin yarısı kadar bir zaman tahsis edilmiş olması iletişimi ancak daha da zorlaştırır.

Cisimlerin birbirlerini etkileme olanaklarını analiz etmek söz konusu olduğunda, cisimler arasındaki uzaklık, etmenlerden sadece bir tanesidir. Diğer önemli etmen ise büyük patlamadan bu yana geçen süredir. Bu süre varlığı iddia edilen herhangi bir etkinin ne kadar yol katedeceğini kısıtlar. Standart büyük patlama modelinde, geçmişte her şey birbirine çok daha yakındı fakat evren de çok daha hızlı genişliyor, cisimlerin birbirlerini etkilemesi için orantısal olarak çok daha az bir zaman bırakıyordu.

Şişme kozmolojisinin önerdiği çözüm ise kozmik geçmişin ilk anlarında uzayın genişleme hızının yukarı doğru fırlatılan bir topun sürati gibi azalmadığı, bunun yerine, genişlemenin yavaş bir hızla başlayıp sonra giderek hız kazandığı bir aşama eklemektir: genişleme ivmelenmiştir. Yukarıda açıkladığımız mantıkla yaklaştığımızda, böyle bir şişme evreli sürecin ortasına karşılık gelen anda, şu bizim iki gözlemci birbirlerinden sürecin sonundaki uzaklıklarının yarısından *az* bir uzaklıkla ayrılacaklardır. Uzaklığın yarısından az bir mesafeyi aşarak iletişimde bulunmak için zamanın yarısının tahsis edilmiş olması gözlemcilerin iletişim kurabilmelerinin evrenin ilk dönemlerinde daha kolay olacağı manasına gelir. Bu durumda daha da erken dönemlerde, ivmeli genişleme orantısal olarak etkileşimlerin gerçekleşmesi için daha fazla zaman anlamına gelmektedir. Bu da evrenin ilk dönemlerinde bugün için birbirinden çok uzaktaki bölgelerin birbirleriyle kolayca iletişim kurmasına imkân tanımaktadır ki şimdi gözlenen ortak sıcaklık değeri bu şekilde açıklanabilir.

İvmelenerek genişleme, toplamda, standart büyük patlama kuramında söz edilenden *çok daha* büyük bir uzaysal genişleme anlamına geleceği için, bu iki bölge, şişmenin başlangıcında, standart büyük patlama kuramında açıklanana oranla birbirlerine *çok daha* yakın olmuş olmalıdırlar. Evrenin ilk dönemlerindeki bu önemli büyüklük farklılığı, standart büyük patlama kuramında birbiriyle iletişim kurması imkânsız olan bölgelerin, neden şişme kuramı çerçevesinde birbiriyle iletişimi kolayca gerçekleştirebileceğini anlamanın bir yoludur. Evrenin başlangıcından sonraki belli bir anda iki bölge arasındaki uzaklık daha az ise bu bölgelerin sinyal alıp vermeleri daha kolay olacaktır.

Genişleme denklemlerini evrenin ilk dönemleri için uygulayacak olursak (uzayın küre biçiminde olduğunu varsayın), standart büyük patlama modeline göre, iki bölgenin şişme evreli modelde açıklanana kıyasla birbirlerinden çok daha çabuk uzaklaşmış olmaları gerektiğini görürüz: bu nedenle, şişme modeline kıyasla, standart büyük patlama modelinde bu iki bölge birbirlerinden çok daha uzaktadır. Bu bakımdan, şişme evreli model, bölgelerin birbirlerinden uzaklaşma hızının alışıldık büyük patlama çerçevesine göre daha yavaş olduğu bir zaman dilimini içermektedir.

Şişme kozmolojisi tanımlanırken genellikle sadece genişleme hızındaki artışa (geleneksel çerçevedekine göre çok büyük olan artışa) odaklanılır, azalmaya değil. Tanımlama biçimlerindeki farklılık, kişinin bu iki çerçeve bağlamında hangi fiziksel özellikleri

dikkate alarak kıyaslama yaptığına bağlıdır. Eğer evrenin ilk dönemlerinde birbirlerinden belli bir uzaklıkta bulunan iki bölgenin yörüngeleri kıyaslanırsa, bu bölgelerin şişme evreli evren kuramında standart büyük patlama kuramında olduğundan daha çabuk birbirlerinden uzaklaştığı söylenecektir. Şişme kuramına göre, bu bölgeler arasındaki bugünkü uzaklık, standart büyük patlama modelinde öngörülenden daha fazladır. Bugün birbirlerinden belli bir uzaklıkla ayrılmış olan bölgeleri (üzerine odaklanmış olduğumuz gece gökyüzünün iki ayrı ucunda yer alan bölgeler gibi) düşündüğümüzdeyse, yaptığım tanım uygun düşer. Yani, şişme evreli genişlemeye dayanan bir kuramda bu bölgeler evrenin ilk başlangıcındaki zamanın belli bir noktasında birbirlerine çok daha yakın olup çok daha yavaş bir hızla birbirlerinden ayrılmışlardır. Şişmeye dayalı genişleme, sonradan bölgelerin birbirlerinden hızla uzaklaşmalarını sağlayarak daha yavaş olan başlangıcı telafi eder ve bölgelerin gökyüzünde bulundukları aynı yere ulaşmalarını sağlar ki bu yer standart büyük patlama kuramındaki yerleri de olmalıdır.

Ufuk problemini daha ayrıntılı biçimde ele alabilmek için şişme evreli genişlemeyi ortaya çıkaran şartların ve ek olarak, örneğin, kozmik mikrodalga fon ışınımını üreten daha sonraki süreçlerin ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Ancak buradaki tartışma ivmelenen ve yavaşlayan genişleme arasındaki temel ayrımı vurgulamaktadır.

4. Torbayı sıktığınızda, içine enerji yüklediğinizi unutmayın. Hem kütle hem de enerji kütleçekimsel eğriliğe neden olduğu için, ağırlıktaki artış kısmen enerjideki artıştan kaynaklanacaktır. Ancak basınçtaki artışın kendisi de ağırlığın artışında rol oynar. (Daha doğru bir sonuç için bu "deneyi" bir boşluk odacığında yaptığımızı düşünelim. O zaman, torbayı saran havadan kaynaklanan kaldırma kuvvetlerini dikkate almamız gerekmez.) Günlük yaşamımızda bu türden bir artış dikkat çekmeyecek kadar küçüktür. Fakat astrofizik ortamlarda bu artış son derece önemli olabilir. Hatta bu artış neden yıldızların belli durumlarda çökerek kara delikler oluşturduğunu açıklamakta da rol oynar. Yıldızlar genelde dengelerini çekirdeklerindeki nükleer süreçler sonucu oluşan dışa doğru itici basınçla, kütleleri nedeniyle oluşan içe doğru kütleçekimsel çekimin birbirini dengelemesi sayesinde sağlarlar. Yıldızın nükleer yakıtının bitmesi, pozitif basıncın düşmesine ve yıldızın büzülmesine neden olur. Bundan dolayı, yıldızı oluşturan parçalar birbirlerine yakınlaşıp kütleçekimi kuvvetini arttırırlar. Daha fazla büzüşme olmaması için fazladan dışa doğru iten bir basınç gerekir (Metindeki bir sonraki paragrafta bundan pozitif basınç olarak söz edilmektedir.). Ne var ki fazladan pozitif basıncın kendisi de fazladan kütleçekimsel çekim meydana getirir ve acilen tekrar yeni bir pozitif basınca ihtiyaç duyulur. Belli durumlarda bu, bir dizi dengesizliğe yol açar. Yıldızın içe doğru kütleçekimsel çekime karşı durmak için güvendiği yegâne şey –pozitif basınç– içe doğru kütleçekimsel çekime o kadar büyük bir katkıda bulunur ki kütleçekimsel bir çöküş kaçınılmaz olur. Bu durumda yıldız şiddetli bir içe çöküş yaşar ve bir kara delik oluşturur.

5. Az önce sözünü ettiğim şişmeyle ilgili yaklaşımda, inflaton alan değerinin potansiyel enerji eğrisinin niye yüksek bir noktasından başladığının belli başlı bir açıklaması yoktur. Bu eğrinin kendine özgü biçiminin neden öyle olduğunu da açıklayamayız. Bunlar, kuramın varsayımlarıdır. Şişme kuramının daha sonraki versiyonlarında, özellikle de Andrei Linde'nin kaotik şişme olarak adlandırdığı versiyonda, çok daha "sıradan" bir potansiyel enerji eğrisinin de (potansiyel enerji için verilen basit matematik denklemlerden ortaya çıkan ve içinde hiçbir düz bölüm bulunmayan parabolik bir eğri) şişme evreli genişlemeye yol açabileceği öne sürülür. Şişme evreli genişlemenin başlayabilmesi için inflaton alan değerinin bu potansiyel enerji eğrisinde de yüksek olması gerekir. Evrenin ilk dönemlerindeki, olağanüstü sıcak olduğu düşünülen ortam zaten bunu sağlamıştır.

6. İlgi duyan okur için bir not eklemek isterim. Şişme kozmolojisine göre uzayın hızlı biçimde genişlemesi hızlı bir soğuma anlamına da gelir (nasıl ki uzayın ya da herhangi başka bir şeyin hızla sıkışması sıcaklıkta ani bir artış anlamına gelirse). Ancak, şişme sonlanmaya yaklaştıkça inflaton alanı, potansiyel enerji eğrisinin en düşük noktası civarında salınmakta ve enerjisini parçacıklar havuzuna aktarmaktadır. Bu süreç "yeniden ısıtma" olarak adlandırılır, çünkü yaratılan parçacıklar kinetik enerjiye sahip olacaktır ve bir sıcaklıkla karakterize edilebilirler. Uzay daha sıradan (şişme evresi olmayan) büyük

patlama genişlemesine maruz kaldıkça, parçacık havuzunun sıcaklığı da düzenli olarak düşer. Burada önemli olan nokta şudur: Şişmeyle hazırlanan her yerde aynı olma durumu, bu süreçler için de her yerde aynı olan koşulları oluşturur ve böylece her yerde aynı sonuçlara yol açar.

7. Alan Guth, şişmenin ebedi olduğunun farkındaydı. Paul Steinhardt değişik bağlamlarda ebedi şişmeyi matematiksel olarak açıklayan yazılar yazdı; Alexander Vilenkin ise genel anlamıyla konunun tanınmasını sağladı.

8. İnflaton alanının değeri, bu alanın uzaya yaydığı enerji ve negatif basınç miktarını belirler. Enerji ne kadar çoksa, uzayın genişleme hızı da o kadar fazladır. Buna karşılık, uzayın hızla genişlemesi inflaton alanının kendisi üzerinde bir geri tepki gösterir: Uzayın genişlemesi ne kadar hızlı olursa, inflaton alanının değeri de o kadar şiddetli bir şekilde titrer.

9. X. Bölüm'de ele alacağımız, ancak sizin de aklınıza gelmiş olabilecek bir konuya değineyim. Uzay şişmeye bağlı genişleme yaşarken, tüm enerjisinde artış meydana gelir: İnflaton alanı ile dolan bir uzayın hacmi ne kadar geniş olursa, toplam enerji de o kadar büyük olur (eğer uzay sonsuz büyüklükteyse, enerji de sonsuzdur –bu durumda, uzay genişledikçe, uzayın sınırlı bir bölgesinde bulunan enerjiye bakmalıyız). Bu da bizi şu soruya yöneltir: Bu enerjinin kaynağı nedir? Şampanya şişesiyle ilgili verdiğimiz benzer örnekte, şişenin içindeki fazladan enerjinin kaynağı, kaslarınızdan gelen güçtü. Kozmosta kaslarınızın yerini ne alır? Yanıt, kütleçekimidir. Tıpayı çekerken şişedeki mevcut alanın genişlemesine neden olan kaslarınızdı. Kütleçekimi ise kozmostaki mevcut uzayın genişlemesine neden olan araçtır. Farkında olmamız gereken önemli nokta, kütleçekimsel alanın enerjisinin gelişigüzel biçimde negatif değer gösterebileceğidir. Karşılıklı çekimleri nedeniyle birbirlerine doğru yaklaşan iki parçacık düşünün. Çekim, her iki parçacığın da birbirlerine doğru gittikçe hızlanan biçimde yaklaşmalarını sağlar. Parçacıklar birbirlerine yaklaştıkça da kinetik enerjileri giderek daha fazla pozitif değer kazanır. Çekim alanı parçacıklara böylesi bir pozitif enerji sağlar çünkü kütleçekimi bu süreçte gelişigüzel biçimde negatif değer alan kendi enerjisini tüketmektedir: Parçacıklar birbirlerine ne kadar yaklaşırlarsa, o kadar negatif bir kütleçekimi enerjisi söz konusu olur (dolayısıyla, kütleçekimine karşı koymak ve parçacıkları birbirlerinden ayırmak için ihtiyaç duyacağınız enerji o kadar pozitif olur). Bu nedenle, kütleçekimi kredi limiti hiç tükenmeyen bir banka gibidir; sonsuz miktarda borç verebilir. Kütleçekimsel alan sınırsız miktarda enerji sağlayabilir, çünkü kendi enerjisi her zaman daha fazla negatif olabilir. İşte, şişme evreli genişlemenin enerji kaynağı budur.

10. İlk olarak Alan Guth tarafından kullanılan "cep evren" tanımlaması inflaton dolu bir ortamda meydana gelen evren için gayet uygun olsa da ben "baloncuk evren" terimini kullanmayı tercih ediyorum.

11. Matematiğe yatkın olan okur için, Şekil 3.5'teki yatay eksenin daha iyi bir tanımı şöyle yapılabilir: Kozmik mikrodalga fon fotonlarının uzayda serbest biçimde yayılmaya başladıkları andaki noktaları barındıran iki boyutlu bir küre düşünün. İki boyutlu herhangi başka bir kürede olduğu gibi, bu geometrik yer için uygun koordinatlar küresel koordinat sistemindeki açısal koordinatlardır. Bu durumda, kozmik mikrodalga fon ışınımının sıcaklığı bu açısal koordinatların fonksiyonu olarak düşünülebilir. Bu nedenle de standart küresel harmonikleri, $Y_l^m(\theta, \phi)$ kullanarak Fourier serisi olarak açılabilir. Şekil 3.5'teki düşey eksen bu açılımdaki her bir mod için katsayıların büyüklüğünü göstermektedir –yatay eksende sağa doğru gitmek daha küçük açısal farka karşılık gelmektedir. Teknik ayrıntılar için, örneğin, bkz. Dodelson'un mükemmel kitabı, *Modern Cosmology* (San Diego, Kaliforniya: Academic Press, 2003).

12. Daha net biçimde belirtmek gerekirse, zamanı yavaşlatan başlı başına kütleçekimi alanının değil, kütleçekimi potansiyelinin şiddetidir. Örneğin, büyük bir yıldızın merkezindeki küresel bir boşluğun içinde beklemek zorunda olsanız, herhangi bir kütleçekimi kuvvetini hiç hissetmezdiniz, fakat kütleçekimi potansiyeli kuyusunun ta derinliklerinde bir yerde olduğunuz için yıldızın dışındaki birisine kıyasla zaman sizin için daha yavaş geçerdi.

13. Bu sonuç (ve yakından ilgili fikirler) birbirlerinden farklı bağlamlarda çalışan araştırmacılar tarafından bulunmuş, Alexander Vilenkin'in yanı sıra Sidney Coleman ve Frank De Luccia tarafından tam ve belirgin bir şekilde ifade edilmiştir.

14. Kapitone Çoklu Evren konusunu ele alırken, hatırlarsanız, her bir kapitone parçasındaki parçacıkların farklı biçimlerde dizildiğini varsaymıştık. Kapitone Çoklu Evren ile Şişme Evreli Çoklu Evren arasındaki bağlantıya dayanarak bu varsayımın iyi bir varsayım olduğunu söyleyebiliriz. İnflaton alanı değeri düştüğü zaman, belli bir bölgede bir baloncuk evren meydana gelir. Böyle olunca da inflatondaki enerji parçacıklara dönüşür. Belli bir anda bu parçacıkların belli bir düzende dizilme biçimi, dönüşüm sürecindeki inflatonun kesin değeriyle belirlenir. İnflaton alanı kuantum titremelerine maruz kaldığı için, değeri düştükçe rastgele değişimler meydana gelecektir –Şekil 3.4'te gösterilen nispeten daha sıcak ya da nispeten daha soğuk noktalara dair biçime yol açan aynı rastgele değişimler. Bir baloncuk evrendeki kapitone parçalar düşünüldüğünde, bu titremeler, inflaton değerinin de rastgele kuantum değişmeleri göstereceği anlamına gelir. Bu rastgelelik parçacık dağılımlarında da rastgele durumları garantiler. Bu yüzden, şu an gördüklerimizin ardındaki düzenleme gibi, herhangi bir parçacık düzenlemesinin herhangi bir başka düzenleme ne kadar sıklıkta tekrarlanıyorsa o kadar sıklıkta tekrarlanmasını bekleriz.

IV. Bölüm: Doğa Yasalarını Birleştirmek

1. Bu konuya ve Einstein'la ilgili başka tarihsel meselelere dair bizzat verdiği bilgiler için Walter Isaacson'a teşekkür ederim.

2. Biraz daha ayrıntılı olarak belirtmek gerekirse, Glashow, Salam ve Weinberg'e göre, elektromanyetik ve zayıf kuvvetler birleşik bir *elektrozayıf kuvvetin* parçalarıydı. Bu kuram, 1970'lerin sonu ve 1980'lerin başında yapılan hızlandırıcı deneyleriyle doğrulandı. Glashow ve Georgi bir adım daha ileri giderek elektrozayıf ve güçlü kuvvetlerin daha temel bir kuvvetin parçaları olduklarını öne sürdüler. Bu, *büyük birleşme* adı verilen yaklaşımdı. Fakat büyük birleşmenin bu en basit biçimi, öngörülerinden bir tanesi yani protonların arada sırada bozunmaları gerektiği bilim insanları tarafından gözlemlenemeyince reddedildi. Ancak, büyük birleşmenin başka birçok versiyonunda öngörülen proton bozunma hızı o kadar yavaştır ki var olan deneylerin hassasiyeti bu hızı tespit etmeye yeterli değildir ve bu nedenle bu versiyonlar deneysel olarak makul olmaya devam etmektedir. Büyük birleşmenin doğruluğu verilerle kanıtlanamasa bile, kütleçekiminden ayrı bu üç kuvvetin kuantum alanı kuramının matematiği ile tanımlanabilir olduğu konusunda zaten şüphe yoktur.

3. Süpersicim kuramının ortaya konulması doğa yasalarının birleştirilmesi arayışı içinde olan başka kuramsal yaklaşımların doğmasına yol açtı. Özellikle, *süpersimetrik kuantum alan kuramı* ile onun kütleçekimsel uzantısı olan *süperkütleçekimi* 1970'lerin ortalarından itibaren son derece popüler oldular. Süpersimetrik kuantum alan kuramı ve süperkütleçekimi, süpersicim kuramı içinde keşfedilen yeni *süpersimetri* ilkesine dayanmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar süpersimetriyi geleneksel nokta-parçacık kuramları çerçevesinde ele alırlar. Süpersimetriyi bu bölüm içinde daha sonra ele alacağız, ancak matematik bilgisi olan okur için, süpersimetrinin temel parçacık kuramı kapsamında mevcut olan son simetri (dönme simetrisi, öteleme simetrisi, Lorenz simetrisi ve daha genel olarak Poincaré simetrisinin ötesinde) olduğunu belirtmek isterim. Bu simetri, farklı kuantum mekaniksel dönüleri olan parçacıkları birbirleriyle ilişkilendirir ve maddeyi oluşturan parçacıklarla kuvvet iletimini sağlayan parçacıklar arasında derin matematiksel bir bağ kurar. Süperkütleçekimi, kütleçekimi kuvvetini de içerecek şekilde süpersimetrinin bir genişletmesidir. Sicim kuramı araştırmalarının başlangıç dönemlerinde, araştırmacılar düşük enerji seviyelerinde yapılan sicim kuramı analizlerinde süpersimetri ve süperkütleçekimi çerçevelerinin ortaya çıktığını fark ettiler. Düşük enerjilerde sicimin uzanıma sahip doğası ayırt edilemez, bu nedenle sicim noktasal parçacık gibi gö-

rünür. Buna bağlı olarak, bu bölümde ele alacağımız gibi, sicim kuramı matematiği düşük enerjili süreçlere uygulandığında kuantum alan kuramı matematiğine dönüşür. Hem süpersimetri hem de kütleçekimi dönüşümden etkilenmedikleri için, düşük enerjili sicim kuramı süpersimetrik kuantum alan kuramının ve süperkütleçekiminin var olmasına neden olur. IX. Bölüm'de ele alacağımız gibi, son zamanlarda, süpersimetrik alan kuramı ve sicim kuramı arasındaki bağ daha da derinleşerek güçlenmiştir.

4. Bu konuda bilgisi olan okur, her alanın bir parçacıkla ilişkili olduğunu belirten ifademe katılmayabilir. Daha açık bir şekilde ifade edecek olursam, bir alanın potansiyelinin yerel minimumu etrafında alanın küçük salınımları genellikle parçacık uyarımları olarak yorumlanır. Şu anda ele aldığımız konu çerçevesinde de bu biçim bir bakış yeterlidir. Ayrıca, konu hakkında bilgisi olan okur, parçacığın yerini belirli bir noktada belirlemenin idealize bir durum olduğunu belirtecektir çünkü bunu yapabilmek –belirsizlik ilkesi gereğince– sonsuz momentum ve enerji gerektirir. Yine kuantum alan kuramına göre, nihai olarak bir parçacığın yerinin ne kadar kesinlikte belirlenebileceğinin bir sınırı yoktur.

5. Tarihsel açıdan, küçük ölçekli (yüksek enerjili), şiddetli kuantum alan titremelerinin nicel sonuçlarıyla başa çıkabilmek için *renormalizasyon* olarak bilinen matematiksel bir teknik geliştirilmişti. Kütleçekimi dışındaki diğer üç kuvvetin kuantum alan kuramına uygulandığında, renormalizasyon, çeşitli hesaplamalarda ortaya çıkan sonsuz nicelikleri (sonsuzlukları) gidermeye yarıyordu. Bu da fizikçilere oldukça kesin tahminlerde bulunma imkânı sağlıyordu. Ancak, renormalizasyonun kütleçekimi alanındaki kuantum titremelerine uygulandığında yetersiz kaldığı görüldü: Kütleçekimiyle ilgili kuantum hesaplamalarında ortaya çıkan sonsuz değerleri gidermeyi beceremedi.

Bugünkü bakış açısıyla bu sonsuzluklar artık daha farklı biçimde değerlendiriliyor. Fizikçiler farkına vardılar ki doğa yasalarını daha derinlemesine anlamaya çalışırken, herhangi bir önerinin olgulara geçici bir açıklama sağladığını ve –eğer uygun bir açıklama sunuyorsa da– sadece belli bir uzunluk ölçeğinin üstündeki (ya da belli bir enerji ölçeğinin altındaki) fiziksel olguları açıklayabileceğini kabul etmek takınılması gereken makul tavırdır. Bu uzunluk ölçeğinin ötesindekiler, ele alınan önerinin kapsamı dışında kalan olgulardı. Bu düşüncenin benimsenmesiyle, kuramı geçerli olduğu sahadaki uzunluklardan daha küçük uzunluklara (ya da geçerli olduğu sahadaki enerjilerin üzerinde enerjilere) genişletmek anlamsız bir şeydi. Ve böyle yerleşik sınırlarla (ana metinde anlatılana benzer şekilde), sonsuzluklar hiçbir zaman ortaya çıkmazlar. Bunun yerine hesaplamalar, geçerli olduğu alan daha başından sınırlanmış kuramlarla yapılır. Bu da öngörülerin, kuramın sınırları içinde kalan olgular üzerine yapılması anlamına gelir –yani çok kısa uzaklıklarda (ya da çok yüksek enerjilerde) kuramın bir öngörüsü olamaz. Tamamlanmış bir kuantum kütleçekimi kuramının nihai amacı, yerleşik sınırları kaldırabilmek, herhangi bir ölçekte nicel öngörüler yapabilmeyi sağlayacak niteliğe kavuşabilmektir.

6. Bu sayıların nereden çıktığını anlamak için kuantum mekaniğinin (VIII. Bölüm'de ele alınacağı gibi) bir parçacıkla bir dalgayı ilişkilendirdiğini dikkate almalıyız. Parçacık ne kadar ağırsa, dalga boyu (ardışık iki dalga tepesinin arasındaki mesafe) o kadar kısa olmaktadır. Einstein'ın genel görelilik kuramı da bir cisimle bir uzunluğu –cismi kara delik haline dönüştürmek için cismin sıkıştırılması gereken boyut– ilişkilendirir. Cisim ne kadar ağırsa, bu boyut da o kadar büyüktür. Şimdi, kuantum mekaniği ile tanımlanan bir parçacıkla başlayıp bu parçacığın kütlesini yavaş yavaş arttırdığınızı düşünün. Bunu yaparken parçacığın kuantum dalga boyu giderek kısalır; "kara delik boyutu" ise büyür. Belli bir kütle değerinde, parçacığın kuantum dalga boyu ile kara delik boyutu eşitlenecektir. Bu eşitlenmeyle, hem kuantum mekaniği hem de genel görelilik ilkelerinin önem arz ettiği sınırı belirleyen kütle ve boyut değerleri belirlenmiş olur. Bu düşünce deneyini nicel hale getirdiğimizde, kütle ve boyutun metinde aktarılanlar –yani Planck kütlesi ve Planck uzunluğu– olduğu görülecektir. Daha sonraki gelişmelerle ilgili olarak, IX. Bölüm'de *holografik ilkeyi* ele alacağım. Bu ilke, herhangi bir uzaysal hacimde bulunabilecek fiziksel serbesti derecelerinin sayısı üzerinde çok özel bir sınırlama olduğunu iddia etmek için genel görelilik ve kara delik fiziğinden yararlanır (bu ilke, birbirin-

den farklı parçacık düzenlemelerinin sayısı hakkında II. Bölüm'de verilen, aynı zamanda II. Bölüm'ün 14. notunda da bahsi geçen tartışmanın daha derin bir halidir). Bu ilke doğruysa, genel görelilik ve kuantum mekaniği arasındaki uyuşmazlık, uzaklıklar küçülmeden eğrilikler de büyümeden önce ortaya çıkabilir. Büyük bir hacimde yer alan parçacıklardan oluşan düşük yoğunlukta bir gazın bile, (genel göreliliğe dayanan) holografik ilkenin izin vereceğinden çok daha fazla serbesti derecesine sahip olacağı kuantum alan kuramı ile öngörülebilir.

7. Kuantum mekaniğinde dönü hassas bir kavramdır. Özellikle, parçacıkların noktalar olarak kabul edildiği kuantum alan kuramında, "dönmek" ne demektir anlayabilmek zordur. Gerçekte olan şudur; yapılan deneyler parçacıkların, değişmeyen miktarda açısal momentum gibi davranan, kendilerine özgü (intrinsik) bir özelliğe sahip olduklarını göstermektedir. Bunun yanı sıra, kuantum kuramına göre ve deneylerle doğrulandığı kadarıyla, parçacıklar genel olarak yalnızca temel bir açısal momentum miktarının (Planck sabiti bölü 2) tam sayı katı olacak şekilde bir açısal momentuma sahiptir. Klasik fizikte dönen cisimlerin kendilerine özgü bir açısal momentumu olduğundan (ancak, değişken bir momentumdur –cismin dönme hızı değiştikçe değişir), kuramcılar "dönü" sözcüğünü ödünç almış ve bu sözcüğü benzer kuantum durumları için kullanmışlardır. Bu bağlamda kullanılan terim "dönü açısal momentumu"dur. "Topaç gibi dönme" uygun bir zihinsel imge oluştursa da şu şekilde bir kavrayış daha uygundur; parçacıklar yalnızca kütleleri, elektrik yükleri ve nükleer yükleri ile değil, sahip oldukları kendilerine özgü ve değişmeyen dönü açısal momentumları ile de tanımlanırlar. Nasıl ki bir parçacığın elektrik yükünü onun temel tanımlayıcı özelliklerinden biri olarak kabul ediyorsak, yapılan deneyler aynı durumun parçacığın dönü açısal momentumu için de geçerli olduğunu kanıtlamıştır.

8. Hatırlayacağınız gibi, genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki uyuşmazlığın nedeni, uzay-zamanı şiddetli biçimde sarsan ve bu nedenle geleneksel matematiksel yöntemlerin başa çıkamadığı kütleçekimi alanının güçlü kuantum titremeleriydi. Kuantum belirsizliğine göre, uzay giderek çok daha yakından incelendiğinde bu titremelerin daha da kuvvetli oldukları görülür (Bu nedenle günlük yaşamımızda bu titremeleri göremeyiz.). Özellikle, hesaplamalarda matematiği zorlayan nokta, Planck ölçeğinden daha kısa mesafelerdeki şiddetli enerjik titremelerdir (Mesafe ne kadar kısa ise titremenin enerjisi o kadar büyük olur.). Kuantum alan kuramı parçacıkları uzamsal boyutu olmayan noktacıklar olarak tanımladığı için, bu parçacıkların tetkik edebileceği mesafeler istenildiği kadar kısa olabilir ve bu nedenle hissettikleri kuantum titremeleri de istenildiği kadar enerjik olabilir. Sicim kuramı bu durumu değiştirmektedir. Sicimler nokta *değildir* – uzamsal boyutları vardır. İlke olarak bir sicim kendi boyutundan daha kısa bir mesafeyi tetkik edemeyeceği için, erişilebilecek bir mesafenin ne kadar küçük olabileceğinin bir sınırı olmasını gerektirir. Takiben, tetkik edilebilecek bir ölçeğin ne kadar küçük olabileceğinin sınırı, titremelerin ne kadar enerjik olabilecekleri üzerine bir sınıra dönüşür. Bu sınır, uğraşılması zor matematiği kontrol altına almak için yeterlidir ve sicim kuramının kuantum mekaniği ve genel göreliliği birleştirmesine imkân tanır.

9. Eğer bir nesne gerçekten tek boyutlu ise onu doğrudan görebilmemiz mümkün olmazdı, çünkü fotonların yansıyacağı bir yüzeyi ve atomik geçişler ile kendi fotonlarını üretecek kapasitesi bulunmazdı. Bu yüzden, metinde "görmek" sözcüğünü kullanırken, cismin uzamsal boyutuna kanıt ararken kullanabileceğimiz herhangi bir gözlemsel ya da deneysel yöntemi kastediyorum. O halde, önemli olan nokta şu ki deneylerinizin çözünürlüğünden daha küçük olan uzamsal boyutlar dikkatinizden kaçacaktır.

10. "What Einstein Never Knew," *NOVA* belgeseli, 1985.

11. Daha doğrusu, evrenin varoluşumuzla en çok ilişkili olan ögeleri tamamen farklı olacaktı. Evrenin bilinen parçacıkları ve onların oluşturduğu cisimler –yıldızlar, gezegenler, insanlar vb.– evrenin toplam kütlesinin yüzde beşinden bile azını oluşturduğundan, bahsi geçen altüst oluş evrenin büyük çoğunluğunu etkilemez, en azından kütle ile ölçülebilecek şekilde. Bununla birlikte, yaşam üzerindeki etkisi açısından ölçülecek olsa, değişiklik büyük olurdu.

12. Kuantum alan kuramlarının kendi parametreleri üzerine koydukları hafif bazı kısıtlar bulunur. Uygun olmayan birtakım fiziksel davranıştan (kritik korunum yasalarının ya da belirli simetri dönüşümlerinin bozulması vb.) kaçınmak için kuramın parçacık yükleri (elektrik ve nükleer yükler) üzerinde kısıtlar olabilir. Buna ilaveten, tüm fiziksel süreçlerde olasılıkların toplamının 1 olmasını sağlamak için parçacık kütleleri üzerinde de kısıtlar bulunabilir. Fakat bütün bu kısıtlarla bile, parçacık özelliklerinin izin verilen değerleri için geniş bir serbestlik söz konusudur.

13. Bazı araştırmacıların dikkatini çekecektir ki ne kuantum alan kuramı ne de bugünkü sicim kuramı anlayışımız parçacık özelliklerini açıklayabiliyor, fakat konunun sicim kuramı açısından aciliyeti daha büyüktür. Bu nokta biraz karmaşık fakat teknik açıdan ilgi duyanlar için bir özet sunalım. Kuantum alan kuramında parçacıkların özellikleri –daha kesin olması için kütleleri diyelim– kuramın denklemlerine konulan sayılarla kontrol edilir. Kuantum alan kuramı denklemlerinin bu sayıların değişmesine izin vermesi, kuantum alan kuramının parçacık kütlelerini belirlemediğinin, bunun yerine bunları girdi olarak aldığının matematiksel olarak ifade edilişidir. Sicim kuramında, parçacık kütlelerindeki esnekliğin benzer bir matematiksel kökeni vardır –denklemler belli sayıların serbestçe değişmesine izin verirler– ancak bu esnekliğin tezahürleri çok daha önemlidir. Serbestçe değişen sayılar –yani enerji olarak bir maliyeti olmadan değiştirilebilen sayılar– kütlesiz parçacıkların varlığına karşılık gelir. (III. Bölüm'de anlatılan potansiyel enerji eğrilerindeki dili kullanırsak, tamamen düz, yatay çizgi biçiminde bir potansiyel enerji eğrisi düşünün. Tamamen düz bir arazide yürümenin potansiyel enerjiniz üzerinde nasıl bir etkisi yoksa bu şekilde bir potansiyel enerji eğrisine sahip bir alanın değerini değiştirmenin de enerji olarak bir maliyeti olmayacaktır. Bir parçacığın kütlesi, kuantum alanının potansiyel enerji eğrisinin minimumu etrafındaki eğriliğine karşılık geldiği için, bu tür alanların kuantası kütlesizdir.) Çok sayıda kütlesiz parçacığın varlığı, öne sürülen herhangi bir kuramın en makul olmayan özelliklerindendir çünkü bu tür parçacıklar üzerine hem hızlandırıcı deneylerinin verilerinden hem de kozmolojik gözlemlerden gelen kesin sınırlar vardır. Sicim kuramının tutarlı olması için bu parçacıkların kütle kazanıyor olmaları zorunludur. Son yıllardaki çeşitli keşifler bunu mümkün kılan çeşitli yollar ortaya koymuştur ve bu yollar ekstra boyutlu Calabi-Yau şekillerinin deliklerinden geçen akılarla ilgilidir. Bu gelişmelerin çeşitli yönlerini V. Bölüm'de anlatacağım.

14. Deneylerin sicim kuramını çürütecek kanıtlar bulmaları imkânsız değildir. Sicim kuramı yapısı gereği belli temel ilkelerin tüm fiziksel olgular için dikkate alınması gerektiğini ifade eder. Bu ilkeler içinde *üniterlik* (belli bir deneyde olası tüm sonuçların olasılıklarının toplamı 1 olmalıdır) ve *yerel Lorentz değişmezliğinin* (yeterince küçük bir alanda özel görelilik yasaları işler) yanı sıra, *analitiklik* ve *geçiş simetrisi* (parçacık çarpışmalarının sonuçları, parçacıkların momentumlarına belli matematiksel ölçütlere uyacak biçimde bağlı olmalıdır) gibi daha teknik özellikler yer alır. Bu ilkelerden herhangi birinin çiğnendiğine ilişkin kanıt bulunursa –belki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda– verileri sicim kuramı ile açıklamak zor olacaktır. (Verileri aynı ilkeleri içeren parçacık fiziğinin standart modeli ile açıklamak da zor olacaktır, ancak altta yatan varsayım şudur, kuram kütleçekimini kapsamadığı için, standart model yeterince yüksek bir enerji ölçeğinde yeni bir tür fiziğe dönüşmelidir. Belirtilen ilkelerin herhangi biriyle çelişen veriler bu yeni fiziğin sicim kuramı olmadığını gösterecektir.)

15. Bir kara deliğin merkezinden söz ederken, bu merkezin sanki uzayda konumlanmış bir yer gibi açıklanması çok yaygındır. Oysa durum öyle değildir. Kara delik, zamanda bir andır. Zaman ve uzay –radyal (ışınsal) doğrultu– kara deliğin olay ufkunu aşarken rollerini değiştirirler. Örneğin, bir kara deliğe düştüyseniz, radyal hareketiniz zamanda ilerleme anlamına gelir. Böylece, zamanda bir sonraki ana çekilir gibi kara deliğin merkezine çekilirsiniz. Bu bağlamda, kara deliğin merkezi, zamanın son anına karşılık gelir.

16. Entropi birçok açıdan fiziğin temel kavramlarından biridir. Bu tartışmada entropi, sicim kuramının kara delikleri tanımlamada gerekli herhangi bir fiziği göz ardı edip etmediğini belirleyen bir tanılama aracı olarak kullanılmaktadır. Öyle olsaydı, kara delik düzensizliğinin hesaplanması için kullanılan sicim kuramı matematiği yanlış olurdu.

Yanıtın Bekenstein ve Hawking'in çok farklı yaklaşımlar kullanarak buldukları sonuçla bire bir uyuşması, sicim kuramının temel fiziğin ifadesini başarılı biçimde yakaladığının işaretidir. Bu da son derece cesaret verici bir sonuçtur. Ayrıntılar için bkz. *Evrenin Zarafeti*, XIII. Bölüm.

17. Calabi-Yau şekilleri arasındaki bu eşleşmenin ilk emareleri Lance Dixon'ın çalışmasının yanı sıra, bağımsız olarak Wolfgang Lerche, Nicholas Warner ve Cumrun Vafa'nın çalışmasında görüldü. Ronen Plesser'la yaptığımız çalışmada bu türden eşleşmelerin ilk somut örnekleri olan *ayna çiftler* adını verdiğimiz ve *ayna simetrisi* ile ilişkilendirilen çiftleri üretecek bir yöntem bulduk. Yine, Plesser'la birlikte, ayna çiftlerden biriyle ilgili şeklin içine sığdırabileceğiniz kürelerin sayıları gibi anlaşılması güç ayrıntılar içeren zor hesaplamaların, diğer ayna şekil üzerinde çok daha rahat bir şekilde ele alınabilecek hesaplara dönüşeceğini gösterdik. Bu sonucumuz Philip Candelas, Xenia de la Ossa, Paul Green ve Linda Parkes'ın çalışmalarında uygulandı –bu araştırmacılar, benim ve Plesser'ın "zor" ve "kolay" formüller üzerine ileri sürdüğümüz eşitliği açıkça hesaplayacak teknikler geliştirdiler. Kolay formülü kullanarak zor olan eşiyle ilgili bilgiler elde ettiler. Bunların içinde metinde sözü edilen kürelerin sayılarıyla ilgili bilgiler de vardı. O yıllardan bu yana, ayna simetrisi kendi içinde, çok önemli sonuçların bulunduğu bir araştırma alanı haline geldi. Bu konuda yapılan çalışmalarla ilgili ayrıntılı tarihçe için, bkz. Shing-Tung Yau ve Steve Nadis, *The Shape of Inner Space* (New York: Basic Books, 2010).

18. Sicim kuramının kuantum mekaniğini ve genel göreliliği başarılı biçimde kapsadığı savı, çok sayıda destekleyici hesaplamalara dayanmaktadır. IX. Bölüm'de ele alacağımız sonuçlar bu hesaplamaların inandırıcılığını daha da artıracak.

V. Bölüm: Yanı Başımızdaki Boyutlarda Asılı Duran Evrenler

1. Klasik mekanik: $\vec{F} = m\vec{a}$. Elektromanyetizma: $d{*}F = {*}J; dF = 0$. Kuantum mekaniği: $H\psi = i\hbar \frac{d\psi}{dt}$. Genel görelilik: $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$.

2. Burada, sayısal değeri (elektromanyetik süreçler için tipik enerjilerde) 1/137 civarında, kabaca 0,0073 olan *ince yapı sabitinden*, $\alpha = e^2/\hbar c$, söz ediyorum.

3. Witten, Tip I sicim eşleşmesi büyükse, kuramın, eşleşmesi küçük olan Heterotik-O kuramına dönüştüğünü ve tam tersinin de mümkün olduğunu belirtmektedir; büyük eşleşmeli Tip IIB *kendisine*, ama küçük eşlemeli bir Tip IIB'ye dönüşür. Heterotik-E ve Tip IIA kuramları biraz daha karmaşıktır (ayrıntılar için bkz. *Evrenin Zarafeti*, XII. Bölüm), fakat genel görünüm bu beş ayrı kuramın bir karşılıklı ilişkiler ağının içinde yer aldığıdır.

4. Matematik bilgisine sahip okur için belirtmek gerekirse; sicimler açısından, yani tek boyutlu içerikler açısından önem taşıyan nokta, bunların hareketlerini tanımlayan fiziğin sonsuz boyutlu bir simetri grubuna uyum göstermesidir. Diğer bir deyişle, sicim hareket ettikçe, iki boyutlu bir yüzeyi süpürür. Bu nedenle, hareket denklemlerinin çıkarılabileceği eylem fonksiyoneli, iki boyutlu bir kuantum alan kuramıdır. Klasik fiziğe göre, bu tür iki boyutlu eylemler konformal olarak değişmezlerdir (iki boyutlu yüzeyin açı-koruyan yeniden ölçeklendirmeleri altında değişmezdir) ve böylesi bir simetri çeşitli kısıtların uygulanmasıyla kuantum mekaniksel olarak da korunabilir (örneğin, sicimin hareket ettiği uzay-zaman boyutlarının sayısı üzerinde, yani uzay-zamanın boyutunda). Konformal grup simetri dönüşümleri sonsuz boyutludur. Bu da hareket eden bir sicimin pertürbatif kuantum analizinin matematiksel tutarlılığı için önemlidir. Örneğin, aksi takdirde, uzay-zaman metriğinin zaman bileşeninin negatif işaretli olmasından kaynaklı olarak negatif norma sahip olacak olan hareketli bir sicimin sonsuz sayıdaki uyarımları, sonsuz boyutlu simetri grubu kullanılarak sistematik biçimde "döndürülüp" yok edilebilir. Ayrıntılar için bkz. M. Green, J. Schwarz ve E. Witten, *Superstring Theory*, Cilt 1 (Cambridge: Cambridge University Press, 1988).

5. Pek çok önemli keşifte olduğu gibi, bunda da öngörüleriyle keşfin temellerini atanların ve çalışmalarıyla keşfin önemini vurgulayanların anılması gerekir. Sicim kuramın-

daki zarların keşfinde önemli rol oynayanlar arasında sayılması gereken adlar Michael Duff, Paul Howe, Takeo Inami, Kelley Stelle, Eric Bergshoeff, Ergin Sezgin, Paul Townsend, Chris Hull, Chris Pope, John Schwarz, Ashoke Sen, Andrew Strominger, Curtis Callan, Joe Polchinski, Petr Hořava, J. Dai, Robert Leigh, Hermann Nicolai ve Bernard DeWitt'tir.

6. İlgili okur şöyle düşünebilir: Şişme Evreli Çoklu Evren de zamanı temel bir şekilde ele alır çünkü kendi baloncuğumuzun sınırı evrenimizde zamanın başlangıcına işaret etmektedir; kendi baloncuğumuzun ötesi zamanımızın da ötesidir. Bu doğru, fakat burada daha genel bir noktaya işaret ediyorum; şu ana kadar ele alınan çoklu evrenlerin hepsi, temel olarak uzayda meydana gelen süreçlere odaklanan çözümlemelerden doğmaktadır. Şimdi ele alacağımız çoklu evrende, zaman daha en başından merkezi bir kavramdır.

7. Alexander Friedmann, *The World as Space and Time*, 1923, Rusça basım, aktaran H. Kragh, "Continual Fascination: The Oscillating Universe in Modern Cosmology," *Science in Context* 22, no. 4 (2009): 587–612.

8. İlginç bir ayrıntı olarak döngüsel zar evren modelinin yazarları, kara enerjinin özellikle faydacı bir uygulamasına başvururlar (kara enerji VI. Bölüm'de ayrıntılı olarak ele alınacaktır). Her döngünün son safhasında, zar evrenlerde kara enerjinin varlığı, ivmelenen genişleme üzerine günümüzde yapılan gözlem sonuçlarıyla uyum göstermektedir; bunu takiben, bu ivmelenen genişleme, entropi yoğunluğunu azaltmakta ve bir sonraki kozmolojik döngüye zemin hazırlamaktadır.

9. Büyük akı değerleri aynı zamanda ekstra boyutlar için verilmiş bir Calabi-Yau şeklinin kararlılığının bozulmasına yol açarlar. Yani bu akılar Calabi-Yau şeklinin büyümesine, dolayısıyla ekstra boyutların görünür olmamaları ölçütüne ters düşen bir durum yaratırlar.

VI. Bölüm: Eski Bir Sabite Yeni Bakış

1. George Gamow, *My World Line* (New York: Viking Adult, 1970); J. C. Pecker, Letter to the Editor, *Physics Today*, Mayıs 1990, s. 117.

2. Albert Einstein, *The Meaning of Relativity* (Princeton: Princeton University Press, 2004), s. 127. Bugün "kozmolojik sabit" olarak adlandırdığımız kavramı Einstein'ın "kozmolojik üye" olarak adlandırdığını hatırlamakta fayda var. Açıklık sağlamak için metinde bu değişikliği yaptım.

3. *The Collected Papers of Albert Einstein*, derleyen Robert Schulmann ve diğerleri, (Princeton: Princeton University Press, 1998), s. 316.

4. Elbette bazı şeyler değişir. III. Bölüm'ün notlarında belirtildiği gibi, uzayın şişmesinin yanı sıra, gökadaların kendi küçük çaplı hızları da vardır. Kozmolojik zaman ölçeği boyunca, bu tür ilave hareketler konum ilişkilerini değiştirebilirler; bu tür hareketler gökada çarpışmaları ve birleşmeleri gibi birçok değişik astrofiziksel olaya da yol açar. Fakat kozmik uzaklıkları açıklayabilmek için bu gibi karmaşık süreçler göz ardı edilebilir.

5. Açıkladığım temel düşünceyi etkilemeyen, ancak belirtilen bilimsel çözümlemeleri yaparken devreye giren bir sorun var. Fotonlar belli bir süpernovadan çıkarak bize doğru yol alırken, sayı yoğunlukları tanımladığım biçimde azalır. Ancak, bu fotonlar başka bir eksilmeye daha uğrarlar. Bir sonraki bölümde, uzayın genişlemesinin foton dalga boylarının da uzamasına, dolayısıyla, enerjilerinin azalmasına –göreceğimiz gibi, "kızıla kayma" olarak adlandırılan etki– nasıl yol açtığını anlatacağım. Orada açıklandığı gibi, gökbilimciler kızıla kayma verilerini evrenin fotonlar salındığı andaki büyüklüğünü öğrenmek için kullanırlar– bu da zaman içinde evrenin genişlemesinin nasıl farklılaşmış olabileceğini belirlemek için kullanılan önemli bir adımdır. Ancak foton uzamalarının – yani enerjilerinin azalmasının– başka bir etkisi daha vardır: uzaktaki bir kaynaktan gelen ışığın sönükleşmesine neden olurlar. Bu nedenle, bir süpernovanın uzaklığını gözlenen ve gerçek parlaklığını kıyaslayarak doğru biçimde tayin etmek için gökbilimcilerin yalnızca foton sayısı yoğunluğundaki azalmayı değil (metinde anlattığım gibi), aynı zamanda kızıla kayma sürecinden kaynaklanan ek azalmayı da hesaplaması gerekir. (Da-

ha da net belirtmek gerekirse, bu ilave azalma (seyrelme) faktörünün iki kez uygulanması gerekir; bu ikinci kızıla kayma faktörü ulaşan fotonların kozmik genişlemeyle hangi oranda uzamış olduklarını hesaba katmak içindir.)

6. Doğru yorumlanırsa, ölçülen uzaklığın anlamıyla ilgili olarak verilen ikinci yanıt da doğru olarak alınabilir. Yeryüzünün genişleyen yüzeyi örneğinde New York, Austin ve Los Angeles kentlerinin hepsi birbirlerinden hızla uzaklaşır, ancak her biri daha önce olduğu gibi dünya üzerindeki aynı yerlerini korurlar. Şehirler birbirlerinden dünya şiştiği için uzaklaşırlar, birisi kalkıp bu şehirleri yerlerinden söküp başka bir yere taşıdığı için değil. Benzer biçimde gökadalar da kozmik genişlemeden dolayı birbirlerinden uzaklaştıkları için uzayda aslında her zamanki yerlerini korumaya devam ederler. Gökadaları uzayın dokusuna dikilmiş gibi kabul edebilirsiniz. Kumaş gerildiği zaman, gökadalar birbirlerinden uzaklaşır, ancak her zaman dikildikleri yeri korurlar. O halde, ikinci ve üçüncü yanıtlar farklı gözükseler de –bir önceki yanıt, bizimle uzak bir gökadanın çok uzun zaman önceki, süpernovanın bugün görebildiğimiz ışığını yaydığı andaki, yeri arasındaki uzaklığa odaklanmaktadır; bir sonraki ise bizimle gökada arasındaki şu anki uzaklığa– aslında farklı değiller. Uzak gökada şimdi de milyarlarca yıl önce de aynı uzay noktasında konumlanmış durumdadır. Yer değişimi uzayın genişlemesi durumunda değil, ancak uzayda farklı bir yere gitmesi durumunda söz konusu olabilirdi. Bu yüzden, ikinci ve üçüncü yanıtlar aslında birbirlerinin aynıdır.

7. Matematik bilgisi olan okur için belirtmek gerekirse, ışığın yayıldığı andan $-t_{yayılma}-$ itibaren şu ana $-t_{şimdi}-$ kadar aldığı yolu şöyle hesaplayabilirsiniz: Uzay-zamanın uzay kısmının düz olduğu bir örnek bağlamında çalışalım. Metrik şu biçimde yazılabilir: $ds^2 = c^2dt^2 - a^2(t)dx^2$. Burada, $a(t)$, t zamanında evrenin ölçek çarpanı, c ise ışık hızıdır. Kullandığımız koordinatlar *eş-hareket eden* (co-moving) olarak adlandırılır. Bu bölümde kullanılan dilde, bu gibi koordinatlar durağan bir haritadaki noktaların etiketlenmesi gibi düşünülebilir; ölçek çarpanı da haritanın ölçeğinde içerilen bilgiyi sağlar.

Işığın izlediği yolun özelliği yol boyunca $ds^2 = 0$'dır (ışığın hızının her zaman c olmasına eşdeğerdir). Bu da $|dx| = \frac{cdt}{a(t)}$ ya da $t_{yayılma}$ ve $t_{şimdi}$ aralığı gibi sonlu bir zaman aralığı için, $\int |dx| = \int_{t_{yayılma}}^{t_{şimdi}} \frac{cdt}{a(t)}$'dir. Bu denklemin sol tarafı, statik bir harita üzerinde ışığın yayıldığı anla şimdiki zaman arasında katetmiş olduğu mesafeyi verir. Bu mesafeyi uzaydaki gerçek uzaklığa çevirmek istersek, formülü bugünün ölçek çarpanına göre yeniden ölçeklendirmemiz gerekir; bu nedenle ışığın katettiği toplam mesafe, $a(t_{şimdi}) \int_{t_{yayılma}}^{t_{şimdi}} \frac{cdt}{a(t)}$'ye eşit olur. Uzay genişlemeseydi, toplam katedilen mesafe, beklenileceği gibi, $\int_{t_{yayılma}}^{t_{şimdi}} cdt = c(t_{şimdi} - t_{yayılma})$ olacaktı. Oysa genişleyen bir evrende katedilen mesafeyi hesaplarken, ışığın aldığı yolun her bir parçasının $\frac{a(t_{şimdi})}{a(t)}$ çarpanıyla çarpıldığını, bunun da bu parçanın, ışığın oradan geçmiş olduğu andan bugüne kadar uzadığı miktarı verdiğini görürüz.

8. Daha kesin olarak, her santimetreküp için yaklaşık $7{,}12 \times 10^{-30}$ gram.

9. Dönüşüm, $7{,}12 \times 10^{-30}$ gram/santimetreküp = ($7{,}12 \times 10^{-30}$ gram/santimetreküp) $\times$ ($4{,}6 \times 10^{4}$ Planck kütlesi/gram) $\times$ ($1{,}62 \times 10^{-33}$ santimetre/Planck uzunluğu)^3 = $1{,}38 \times 10^{-123}$ Planck kütlesi/Planck küpü hacmidir.

10. Şişme için ele aldığımız itici kütleçekimi şiddetli ve kısaydı. Bu da inflaton alanının sağladığı muazzam enerji ve negatif basınçla açıklanmaktadır. Bununla birlikte, bir kuantum alanının potansiyel enerji eğrisini değiştirerek sağladığı enerji ve negatif basınç miktarı azaltılabilir ve hafif miktarda ivmelenmiş bir genişleme elde edilebilir. İlaveten,

potansiyel enerji eğrisinin uygun biçimde ayarlanması ile bu ivmeli genişleme süresi uzayabilir. Hafif miktarda ve daha uzun bir süreye yayılmış ivmeli genişleme, süpernova verilerini açıklamak için gerekli olan şeydir. Yine de kozmolojik sabitin küçük ancak sıfır olmayan değeri, hızlanan genişlemenin ilk gözlemlendiği zamandan bu yana geçen on yıldan fazla süre içinde ortaya çıkmış en ikna edici açıklamadır.

11. Matematik bilgisi olan okur için belirtmek gerekirse, bu türden her bir titreme dalga boyuyla ters orantılı bir enerji ekler. Bu da olası tüm dalga boylarının toplamının sonsuz bir enerji sağlaması anlamına gelir.

12. Matematik bilgisi olan okur için belirtmek gerekirse, sadeleşmenin meydana gelmesinin nedeni süpersimetrinin bozonları (tamsayı dönü değerleri olan parçacıklar) ve fermionları (dönü değerleri [tek] tamsayının yarısı olan parçacıklar) eşleştirmesidir. Bu da bozonların yer-değiştirir değişkenlerle, fermionların ise anti-yer-değiştirir değişkenlerle tanımlanmasına yol açar ve bu durum kuantum dalgalanmalarındaki göreli eksi işaretinin kaynağıdır.

13. Evrenimizin fiziksel özelliklerindeki değişimlerin yaşamın bildiğimiz halini tehdit edeceğine ilişkin iddialar bilimsel çevrelerde oldukça kabul görürken, bazıları da yaşamla uyumlu özelliklerin değer aralığının düşünüldüğünden çok daha geniş olabileceğini savunmaktadır. Bu konular pek çok çalışmada ele alındı. Örneğin, şu kitaplara ve kaynakçalarına bakınız: John Barrow ve Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (New York: Oxford University Press, 1986); John Barrow, *The Constants of Nature* (New York: Pantheon Books, 2003); Paul Davies, *The Cosmic Jackpot* (New York: Houghton Mifflin Harcourt, 2007); Victor Stenger, *Has Science Found God?* (Amherst, N.Y.: Prometheus Books, 2003).

14. Daha önce ele aldığımız konulara dayanarak yanıtın yüksek sesle söylenecek bir "evet" olduğunu düşünebilirsiniz hemen. Diyelim ki yanıtınız, sonsuz uzaysal genişliği içinde sonsuz sayıda evren barındıran Kapitone Çoklu Evren olsun. Ama dikkatli olmanız gerek. Sonsuz sayıda çok evrende bile, farklı kozmolojik sabit listesi çok uzun olmayabilir. Örneğin, temelde yatan yasalar çok sayıda farklı kozmolojik sabit değerine izin vermiyorsa, evrenlerin sayısı ne olursa olsun, sadece az sayıda kozmolojik sabit değeri bulunacaktır. Bu nedenle, sorduğumuz sorular, (a) bir çoklu evrenin oluşmasına yol açacak fizik yasalarının olup olmadığı, (b) bu şekilde oluşmuş bir çoklu evrenin 10^{124}ten fazla evreni barındırıp barındırmadığı, (c) fizik yasalarının, kozmolojik sabit değerinin bir evrenden öbürüne değişmesini sağlayıp sağlamadığıdır.

15. Calabi-Yau şekillerinin ve deliklerinden geçen akıların isabetli seçilmeleri durumunda, gözlemlerle saptananlar gibi küçük, pozitif kozmolojik sabitli sicim modelleri gerçekleştirilebileceğini ilk olarak bu dört yazar göstermiştir. Juan Maldacena ve Liam McAllister'la birlikte bu grup daha sonra, şişme kozmolojisinin sicim kuramıyla nasıl bağdaştırılabileceğine ilişkin son derece etkili bir makale yazmışlardır.

16. Daha net belirtirsek, bu dağlık bölge bağımsız yönleri –eksenleri– farklı alan akılarına karşılık gelen kabaca 500 boyutlu bir uzayı kaplayacaktır. Şekil 6.4 kabataslak bir görsel tasvir olsa da değişik biçimlerdeki ekstra boyutlar arasındaki ilişkiler üzerine görsel bir fikir sunmaktadır. Bunun yanı sıra, sicim manzarasından söz ederken fizikçiler, dağlık alanın, olası akı değerlerine ek olarak,ekstra boyutların olası tüm büyüklük ve şekillerini (farklı topolojiler ve geometriler) ihtiva ettiğini belirtmektedirler. Sicim manzarasındaki vadiler, tıpkı yuvarlanan bir topun gerçek bir dağlık arazide durup konumlanacağı yerler gibi, bir baloncuk evrenin doğal olarak konumlandığı yerlerdir (ekstra boyutlar ve taşıdıkları akılar için özel biçimler). Matematiksel olarak tanımlarsak, vadiler ekstra boyutlarla ilişkilendirilmiş potansiyel enerjinin (yerel) minimumlarıdır. Klasik fiziğe göre, bir baloncuk evren bir vadiye karşılık gelen ekstra boyut biçimi kazandıktan sonra, bu özellik hiçbir zaman değişmez. Oysa kuantum mekaniğine göre, tünelleme olaylarının ekstra boyutların biçimlerinde değişikliğe yol açabildiğini göreceğiz.

17. Daha yüksek bir zirveye kuantum tünellemesi mümkündür ancak kuantum hesaplamalarına göre oldukça düşük bir olasılıktır bu.

1. Baloncukların çarpışma öncesindeki genişleme süresi, gerçekleşecek çarpışmanın etkisini ve çarpışanların ne ölçüde bozulacağını belirler. Bu tür çarpışmalar, III. Bölüm'deki Trixie ve Norton'la ilgili örneği hatırlatacak biçimde, zamanla ilgili ilginç bir noktaya dikkat çeker. İki baloncuk çarpıştığı zaman dış kenarları –inflaton enerjisinin yüksek olduğu kısımlar– birbirlerine temas eder. Çarpışan baloncuklardan herhangi birinde bulunan birisinin gözüyle, yüksek inflaton enerji değeri, o baloncuktaki büyük patlamaya yakın, zamanın ilk dakikalarına denk düşer. Böylece, baloncuk çarpışmaları her evrenin başlangıcında meydana gelir. Bu nedenle, meydana gelen dalgacıklar başka bir evrenin ilk süreçleri üzerinde, yani mikrodalga fon ışınımı üzerinde etki yaratır.

2. VIII. Bölüm'de kuantum mekaniğini daha sistemli biçimde ele alacağız. Orada da göreceğimiz gibi, sözünü ettiğim "gündelik gerçekliğimizin dışında kalmak" ifadesi değişik düzeylerde yorumlanabilir. Burada benim zihnimdeki kavramsal olarak en basitidir: Kuantum mekaniğinin denklemine göre, olasılık dalgaları genel deneyimlerimizin uzaysal boyutlarında bulunmazlar. Bunun yerine, dalgalar, yalnızca gündelik uzay boyutlarının dikkate alındığı bir ortamda değil, tanımlanan parçacıkların *sayısının* da önemli olduğu bir ortamda bulunurlar. Buna *konfigürasyon uzayı* denir ve matematik bilgisi olan okur için VIII. Bölüm'de 4. notta anlatılmaktadır.

3. Uzayın gözlemlediğimiz ivmelenerek genişlemesi sürekli değilse, gelecekte bir noktada uzayın genişlemesi yavaşlayacaktır. Yavaşlama, kozmik ufkumuzun ötesinde olan cisimlerden yayılan ışıkların bize ulaşması, yani kozmik ufkumuzun genişlemesi anlamına gelecektir. O zaman, şu an kozmik ufkumuzun dışında kalan ama ileride erişebileceğimiz bu bölgelerin gerçek olmadığını düşünmek daha tuhaf olacaktır. (Hatırlarsanız, II. Bölüm'ün sonuna doğru, Şekil 2.1'de gösterilen kozmik ufukların zaman içinde büyüyeceğinden söz etmiştim. Uzayın genişleme hızının ivmelenmediği bir evrende doğrudur bu. Ancak, eğer genişleme ivmeleniyorsa, ne kadar beklersek bekleyelim, ondan ötesini hiçbir zaman gözlemleyemeyeceğimiz bir uzaklık olacaktır. İvmelenen bir evrende kozmik ufuk, ivmelenme oranının matematiksel olarak belirlediği miktardan daha fazla büyüyemez.)

4. Belli bir çoklu evrendeki tüm evrenlerin ortak özelliği olabilecek bir özelliğe dair somut bir örnek vereyim: II. Bölüm'de söz ettiğimiz gibi, şu an elimizdeki veriler uzayın eğriliğini sıfır olarak göstermektedir. Ancak, matematiksel olarak teknik bazı nedenlerle, hesaplamalar Şişme Evreli Çoklu Evren'deki tüm baloncuk evrenlerin negatif eğriliği olduğunu göstermektedir. Kabaca ifade etmek gerekirse, eşit inflaton değerleri üzerine yayılan uzaysal şekiller –Şekil 3.8'deki eşit sayıların birleştirilmeleriyle belirlenen şekiller– düz bir masa üstüne benzeyen şekillerden ziyade patates cipsi görünümündeki şekillerdir. Yine de Şişme Evreli Çoklu Evren gözlemlerle uyum içindedir çünkü herhangi bir şekil genişledikçe eğriliği azalır; bilyenin yüzeyinin eğriliği çabuk fark edilir ama dünya yüzeyinin eğriliği binlerce yıl dikkatten kaçmıştır. Eğer baloncuk evrenimiz yeterli bir genişleme geçirdiyse, eğriliği negatif ancak aşırı derece küçük olabilir; bu nedenle, bugünkü koşullarda yapılan ölçümler bu miktarı sıfır değerinden ayıramayabilir. Bu da olası bir sınama sağlar. İleride yapılabilecek çok daha hassas ölçümlerle uzaysal eğriliğin çok küçük ancak pozitif değerde olduğu anlaşılırsa, B. Freivogel, M. Kleban, M. Rodríguez Martínez ve L. Susskind'in öne sürdüğü gibi bir Şişme Evreli Çoklu Evren'in parçası olmamıza karşı çıkan bir veri olacaktır bu (bkz. "Observational Consequences of a Landscape," *Journal of High Energy Physics* 0603, 039 [2006]). 10^5'te 1 oranında pozitif eğrilik ölçümü, sicim manzarasını doldurduğu öngörülen kuantum tünelleme geçişlerine (VI. Bölüm) karşıt bir durum ortaya çıkaracaktır.

5. Bu konu üzerinde çalışan pek çok kozmolog ve sicim kuramcısı arasında –başka birçoklarının yanı sıra– Alan Guth, Andrei Linde, Alexander Vilenkin, Jaume Garriga, Don Page, Sergei Winitzki, Richard Easther, Eugene Lim, Matthew Martin, Michael Douglas, Frederik Denef, Raphael Bousso, Ben Freivogel, I-Sheng Yang, Delia Schwartz-Perlov sayılabilir.

6. Dikkat çekilmesi gereken önemli bir nokta da şudur, bir miktar sabitteki ortalama değişimlerin etkisi doğru biçimde belirlenebiliyorsa da çok daha büyük sayıdaki sabitlerdeki daha önemli değişimleri belirlemek işi çok daha zorlaştırır. Doğanın çeşitli sabitlerindeki bu türden önemli değişimlerin birbirlerini etkisiz hale getirmesi mümkündür ya da bu etkiler birlikte bir etki oluşturup bildiğimiz yaşam biçimiyle uyumlu özellikler gösteriyor olabilirler.

7. Daha açık ifade edecek olursak, kozmolojik sabit negatif ama son derece küçükse, çöküş zamanı bir gökada oluşumuna izin verecek şekilde yeterince uzun olabilir. Bu ayrıntıyı şimdilik bir tarafa bırakıyorum.

8. Dikkate alınması gereken bir başka nokta şu ki anlattığım hesaplamalar özel bir çoklu evren seçiminden yola çıkılarak yapılmamıştır. Weinberg ve arkadaşları, evrenlere ait özelliklerin değiştiği bir çoklu evren varsayımına dayanarak bu çoklu evrenin içindeki evrenlerin barındırdığı gökadaların çokluğu üzerinde hesaplamalar yapmışlardır. Eğer bir evrende çok gökada varsa, Weinberg ve arkadaşları tipik bir gözlemcinin gözleyebileceği ortalama özelliklerinin hesaplanmasında bu gökadanın özelliklerine daha büyük istatistiksel ağırlık çarpanı vermişlerdir. Ancak, hesaplamalarını belirli bir çoklu evren kuramından yola çıkarak yapmadıkları için şu ya da bu özelliklere sahip bir evrenin çoklu evrende bulunma olasılığını (bir önceki bölümde ele aldığımız olasılıklar) hesaplamalarına katmamışlardır. Kozmolojik sabitleri ve başlangıç dönemlerindeki dalgalanmaları belli aralıklarda bulunan evrenler gökada oluşumuna müsait olabilirler, ancak belli bir çoklu evrende bu tür evrenler çok nadiren ortaya çıkmışsa, kendimizin böyle evrenlerden birinde bulunduğunu söyleyebilmemiz çok düşük bir olasılıktır.

Weinberg ve arkadaşları, hesaplamalarla başa çıkabilmek için kozmolojik sabit değerlerini dar bir aralıkta (sıfırla 10^{-120} arası) ele aldıklarından dolayı belli bir çoklu evrende bu türden evrenlerin bulunabileceğine ilişkin olasılıkların, tıpkı yolda karşınıza 27,99997 kg ağırlığındaki bir köpeğin çıkma olasılığı ile 27,99999 kg ağırlığındaki bir köpeğin çıkma olasılığının çok fazla değişmeyeceği gibi, çok büyük bir değişiklik göstermeyeceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, bir gökadanın oluşmasına imkân sağlayan dar bir aralıktaki her kozmolojik sabit değerinin, başka herhangi bir kozmolojik sabit değeri kadar olası olduğunu varsaymışlardır. Çoklu evrenlerin oluşumu hakkındaki bilgimiz sınırlı olduğu için bu yaklaşım ilk başta kabul edilebilir gözükmüştü. Ancak daha sonraki çalışmalarda bu varsayımın geçerliği sorgulanmış, eksiksiz bir hesaplamanın, belirli bir çoklu evren önerisinden yola çıkmak ve çeşitli özelikleri olan evrenlerin dağılımını saptamak gibi başka nitelikler taşıması gerektiği vurgulanmıştır. Bu yaklaşımın sonunda bir açıklama sağlayıp sağlamayacağını değerlendirebilmenin yegâne yolu, sadece asgari sayıdaki varsayımlara dayanan ve kendi başına bir bütün oluşturan bir insan temelli hesaplamadır.

9. "Tipik" sözcüğünün tam anlamı da belirsizdir çünkü nasıl tanımlanıp ölçüldüğüne göre değişir. Çocuk ve araba sayısını gözeterek "tipik" Amerikan ailesine ulaşabiliriz. Ancak fiziğe ilgi duyma, operayı sevme, politikayla ilgilenme gibi farklı ölçekler kullanırsak "tipik" aile kavramı da değişecektir. "Tipik" bir Amerikan ailesi için geçerli olan şeyler büyük ihtimalle, çoklu evrendeki "tipik" gözlemciler için de geçerlidir: Tek başına nüfus büyüklüğü ötesindeki başka özelliklerin dikkate alınması kimin "tipik" olduğuna dair fikrimizi değiştirecektir. Buna bağlı olarak, evrenimizde şu ya da bu özelliği görmemizin ne kadar muhtemel olduğuna ilişkin tahminlerimiz de farklılık gösterecektir. İnsan temelli bir hesaplamanın ikna edici sonuçlar verebilmesi için bu önemli noktayı dikkate alması gerekir. Bir başka olasılık olarak, metinde belirtildiği gibi, dağılımların o kadar keskin bir zirve şekline sahip olması gerekir ki yaşam barındıran evrenler arasındaki farklar da son derece küçük olsun.

10. Sonsuz sayıda elemanı olan kümelerle ilgili matematiksel çalışmaların sayısı oldukça çoktur ve olgunlaşmış durumdadır. Matematik bilgisi olan okur, on dokuzuncu yüzyıla kadar uzanan çalışmalarda sonsuzluğun farklı "büyüklükler"e sahip olduğunu, daha doğrusu, "dereceler"i olduğunu belirten bilgileri hatırlayacaktır. Diğer bir deyişle, bir sonsuz miktar, başka bir sonsuz miktardan daha büyük olabilir. Bütün tam sayıla-

rı kapsayan kümenin büyüklüğünü veren sonsuzluk derecesi $\aleph_0$ olarak adlandırılır. Georg Cantor bu sonsuzluğun, gerçek sayılar kümesinde yer alan elemanların sayısını veren sonsuzluktan daha küçük olduğunu belirtmiştir. Yani tam sayıları ve gerçek sayıları eşleştirmeye çalışırsanız, gerçek sayılardan önce mutlaka tam sayıları tüketirsiniz. Gerçek sayıların tüm alt kümelerini düşünürseniz, sonsuzluk derecesi daha da büyür.

Şimdi, ana metinde tartıştığımız tüm örneklerde ilgili sonsuzluk $\aleph_0$dır çünkü sonsuz sayıda ayrı ya da "sayılabilir" nesne topluluklarından söz ediyoruz –yani tam sayıların çeşitli kümelerinden. O halde matematiksel olarak tüm örnekler aynı büyüklüğe sahiptir; hepsi aynı sonsuzluk derecesiyle tanımlanır. Bununla birlikte, birazdan göreceğimiz gibi, fizikte bu tür bir çıkarım pek de yararlı sayılmaz. Asıl amaç, sonsuz evren kümelerinin kıyaslanmasını sağlayacak ve çok daha ayrıntılı bir hiyerarşiyi, bir grup fiziksel özelliğin başka bir grup fiziksel özellikle kıyaslandığında çoklu evrende ne kadar çok miktarda bulunduğunu gösterebilecek fiziğe dayalı bir sistem bulmaktır. Böylesi bir güçlüğü aşmanın fizik açısından tipik bir yolu, söz konusu sonsuz kümelerin sonlu altkümeleri arasında kıyaslamalar yapmak (sonlu durumda, bütün kafa karıştıran sorunlar ortadan kalkar) ve sonra altkümelerin giderek daha fazla eleman kapsamasını sağlayarak en sonunda tüm sonsuz kümeyi içermesine çalışmaktır. Sorun, kıyaslama yapmak için sonlu altkümeleri seçecek fizik açısından uygun olan bir yol bulmak, sonra da kümeler genişledikçe kıyaslamaların aynı doğrulukta kalmasını sağlamaktır.

11. Şişme kuramının, içlerinde *manyetik tekkutup* (monopole) *problemi*nin çözümü de olmak üzere, kazandığı başka başarılar da bulunmaktadır. Kütleçekimi dışındaki üç kuvveti birleşik kuramsal bir yapıya bağlama (*büyük birleşme* olarak da bilinir) çabalarında ortaya çıkan matematiğe göre, araştırmacılar, büyük patlamadan hemen sonra çok sayıda manyetik tekkutup oluşmuş olması gerekeceğini bulmuşlardır. Bu parçacıklar aslında bir mıknatısın, bir güney kutbuyla eşleşmeyen sadece kuzey kutbu (ya da tersi) gibidir. Ancak bu türden parçacıklar henüz gözlemlenmemiştir. Şişme kozmolojisi, tekkutupların bulunamamasını büyük patlamanın hemen ardından oluşan ani ancak muazzam uzaysal genişlemeye bağlamakta, bu genişlemenin evrenimizdeki tekkutup sayısını neredeyse sıfıra düşürmüş olabileceğini belirtmektedir.

12. Günümüzde bunun ne kadar büyük bir zorluk olduğuna dair farklı görüşler var. Kimilerine göre ölçme sorunu çok ciddi teknik bir sorundur ve çözüldüğünde şişme evreli kozmolojiye önemli bir ayrıntı katacaktır. Kimileri (örneğin Paul Steinhardt) ölçme sorununu çözmenin aslında şişme kozmolojisi matematiğinin dışına çıkılmasını gerektireceğini ve ortaya çıkacak matematiksel çerçevenin de yepyeni bir kozmoloji kuramı olarak yorumlanacağına inandığını ifade etmektedir. Benim ve az ancak giderek artan sayıda araştırmacının görüşü ise ölçme sorununun fiziğin temel bir sorunu olduğu ve aslında en temel ilkelerin baştan gözden geçirilmesini gerektireceği yönündedir.

VIII. Bölüm: Kuantum Ölçümüyle Çoklu Dünyalar

1. Everett'in 1956'da yazdığı orijinal tezi ile kısaltılmış 1957 versiyonu, editörlüğünü Bryce S. DeWitt ve Neill Graham'ın yaptığı *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics* (Princeton: Princeton University Press, 1973) adlı kitapta bulunabilir.

2. 27 Ocak 1998'de John Wheeler'le konuşmuş ve *Evrenin Zarafeti*'nde ele alacağım kuantum mekaniği ve genel görelilik konularını tartışmıştık. Bilimsel ayrıntılara girmeden önce Wheeler, özellikle genç bilim insanlarının elde ettikleri sonuçları açıklamak için doğru bir dil kullanmasının ne kadar önemli olduğunu vurgulamıştı. O zaman bu söylediğini bilgece bir tavsiyeden öte algılamayıp, matematiksel kavrayışları gündelik bir dille ifade etmek isteyen "genç bir kuramcı"yla konuşuyor olmasından etkilendiğini düşünmüştüm. Peter Byrne'nın *The Many Worlds of Hugh Everett III* kitabında (New York: Oxford University Press, 2010) anlatılan geçmişle ilgili aydınlatıcı bilgileri okuduktan sonra, Wheeler'ın bu konuyu, yaklaşık kırk yıl önce Everett'le iş ilişkilerinde çok daha ciddi bir bağlamda vurgulamış olduğunu görüp şaşkına döndüm. Everett'in tezinin ilk

taslağına yanıt olarak Wheeler, Everett'e "metinlerdeki formalizmi değil, sözcüklerdeki yanlış anlaşılmaya neden olabilecek noktaları gidermesi" gerektiğini söylemiş ve kendisini "matematikte olanların gündelik dille ifade edilmesindeki zorluk; doğabilecek çelişkiler ve yanlış anlamalar ve her şeyi bu tür yanlış anlamaların doğmayacağı biçimde ifade edebilmenin çok çok ağır yükü ve sorumluluğu" konusunda uyarmıştı. Byrne'a göre Wheeler, Everett'in çalışmalarına hayranlığı ile Bohr ve diğer pek çok tanınmış fizikçinin kurmak için uğraş verdikleri kuantum mekaniği anlayışına saygısı arasındaki ince çizgide gidip geliyordu. Bir yandan Everett'in bakış açısının, düşüncelerini sunma biçiminin fazla uçuk bulunması ya da kullandığı terimlerin fazla iddialı ve hayal ürünü olarak görülmesi yüzünden (evrenlerin "bölünmesi" gibi) kıdemli fizikçiler tarafından göz ardı edilmesine gönlü razı olmuyor, öte yandan kendini ispatlamış fizikçilerden oluşan bu grubun, başarılı olmuş kuantum formalizmini henüz meşruiyet kazanmamış bir sav için reddettiğini düşünmelerini istemiyordu. Wheeler'ın Everett'e teziyle ilgili olarak kabul ettirmeye çalıştığı şey, geliştirdiği matematiği muhafaza etmesi, ancak anlamını ve uygulamasını daha yumuşak ve uzlaştırıcı bir tonla ifade etmesiydi. Wheeler, aynı zamanda, ısrarla Everett'in Bohr'u ziyaret edip savını karatahta üzerinde kendisine şahsen anlatmasını önerdi. 1959'da Everett bunu yaptı. Ne var ki Everett'in çabaları düşündüğü gibi iki hafta süren münazaralarla değil verimsiz birkaç diyalogla sonuçlandı. Ne fikirler ne de taraflar değişti.

3. Şimdi kesinlikten uzak bir noktayı açıklığa kavuşturayım. Schrödinger denklemi bir kuantum dalgasının değerlerinin (ya da alanın diliyle dalga fonksiyonunun) pozitif ya da negatif olabileceğini gösterir; daha genel durumda, bu değerler karmaşık sayılar olabilir. Bu değerler doğrudan olasılıklar olarak yorumlanamazlar –negatif ya da karmaşık olasılık ne demek olabilir ki? Bunun yerine, olasılıklar belli bir noktadaki kuantum dalgası *büyüklüğünün karesiyle* ilişkilendirilir. Matematiksel olarak bu, bir parçacığın bir yerde bulunma olasılığını belirlemek için, o noktadaki *dalga değerini ve onun karmaşık eşleniğinin çarpımını almak* anlamına gelir. Bu açıklama ilgili başka önemli bir konuyu da gündeme getirmektedir. Örtüşen dalgaların birbirini götürmesi bir dalga girişim örüntüsü yaratılmasında büyük önem taşır. Ancak, eğer dalgaların kendileri olasılık dalgaları olarak tanımlanmışlarsa, böyle bir götürme söz konusu olamaz çünkü olasılıklar pozitif sayılardır. Gördüğümüz gibi, kuantum dalgalarının yalnızca pozitif değerleri yoktur; bu da iptallerin pozitif ve negatif sayılar arasında ve aynı zamanda, daha genel durumda, karmaşık sayılar arasında olabilmesine olanak sağlar. Bu tür dalgaların yalnızca niteliksel özeliklerine gerek duyacağımızdan, ana metinde tartışma kolaylığı için kuantum dalgası ile bu dalgayla eşleşen (büyüklüğünün karesinden elde edilen) olasılık dalgasını birbirlerinden ayırmayacağım.

4. Matematik bilgisi olan okur için belirtmek gerekirse, büyük kütleli tek bir parçacığın kuantum dalgası (dalga fonksiyonu) metinde verdiğim tanıma uyar. Bununla birlikte, çok büyük cisimler bir tek değil, genellikle çok fazla parçacıktan oluşmaktadır. Bu gibi durumda, kuantum mekaniğine göre yapılan tanımlama daha fazla işin içine girer. Özellikle, bütün parçacıkların tek bir parçacık için kullandığımız aynı koordinat sisteminde –aynı üç uzaysal eksen kullanılarak– tanımlanan bir kuantum dalgasıyla ifade edilebileceğini düşünmüş olabilirsiniz. Ancak bu doğru değildir. Olasılık dalgası her bir parçacığın *olası konumunu* girdi olarak alır ve parçacıkların o konumlarda bulunmasıyla ilgili olasılığı üretir. Sonuç olarak, olasılık dalgası her bir parçacık için üç eksenli –diğer bir deyişle, toplamda parçacık sayısı kadar eksenin üç katı (ya da eğer sicim kuramının ekstra boyutlarını hesaba katarsanız on katı)– bir uzayda varlığını sürdürür. Bu da n sayıda temel parçacıktan oluşmuş çok parçacıklı bir sistemde dalga fonksiyonunun, içinde bulunduğu uzayın sıradan üç boyutlu değil, $3n$ boyutlu olduğu karmaşık değerli bir fonksiyon olması demektir. Uzaysal boyutların sayısı 3 değil de, m olursa, bu ifadelerdeki 3 sayısı, m ile değiştirilmelidir. Bu tür bir uzay *konfigürasyon uzayı* olarak adlandırılır. Diğer bir deyişle, dalga fonksiyonu $\psi:\mathfrak{R}^{mn} \rightarrow C$ şeklinde bir fonksiyon olacaktır. Böyle sivri bir tepe yapmış bir dalga fonksiyonundan söz ederken, bu fonksiyonun tanım kümesi içindeki mn boyutlu küçük bir kürenin içindeki noktalarda sıfırdan farklı değerler

aldığını belirtmek istiyoruz. Dalga fonksiyonlarının genellikle bildiğimiz uzay boyutlarında bulunmadıklarına dikkat etmek gerekir. Yalnızca her şeyden tamamen yalıtılmış tek bir parçacığın dalga fonksiyonunun söz konusu olduğu ideal durumlarda konfigürasyon uzayı bilinen uzay ortamı ile örtüşebilir. Ayrıca şunu da göz önünde bulundurun; Kuantum yasaları, büyük bir cismin keskin bir zirve yapmış dalga fonksiyonunun, Newton denklemlerinin cisim için belirttiği yörüngeyle aynı yörüngeyi izlediğini gösteriyor, dediğim zaman, dalga fonksiyonunun cismin kütle merkezinin hareketini tanımladığını düşünebilirsiniz.

5. Bu tanımdan, elektronun bulunabileceği sonsuz sayıda yer olduğu sonucunu çıkartabilirsiniz: Giderek değişen kuantum dalgasını gerektiği gibi doldurmak için, her biri elektronun olası bir konumuyla uyumlu sınırsız sayıda sivri yapı biçiminde şekillere ihtiyaç duyarsınız. Peki, bu ifade, parçacıkların sonlu sayıda konfigürasyonu olduğunu söylediğimiz II. Bölüm'deki ifadelerle nasıl uyuşmaktadır? Bu bölümde açıkladığım konularla çok az ilişkisi olan bu sürekli nitelendirmelerden kaçınmak için, II. Bölüm'de karşılaştığımız bir olgu olan elektronun bulunduğu yeri çok daha fazla bir doğrulukla belirleyebilmek için, ölçüm cihazınızın çok daha fazla enerji harcaması gerektiğini vurgulamadım. Gerçek fiziksel durumların sonlu enerjisi olduğundan, çözünürlük de kusursuz olmayacaktır. Sivri bir yapıya sahip kuantum dalgaları için bunun anlamı, herhangi bir sonlu enerji durumunda, sivri yapıların genişliğinin sıfırdan farklı olacağıdır. Bu da sınırlı herhangi bir alanda (kozmik ufuk gibi) sonlu sayıda farklı elektron konumu bulunduğu anlamına gelir. Dahası, sivri yapılar ne kadar ince ise (parçacık konumunun çözünürlüğü ne kadar fazla ise) parçacığın enerjisini gösteren kuantum dalgaları o kadar geniştir. Bu da belirsizlik ilkesinin gerektirdiği bir dengedir.

6. Felsefe bilgisi olan okur için belirtmek gerekirse, ana hatları ile vermiş olduğum bilimsel bir açıklamanın iki aşamalı hikayesi felsefi bir tartışma konusudur. Bu konudaki görüşler ve tartışmalar için bkz. Frederick Suppe, *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism* (Chicago: University of Illinois Press, 1989); James Ladyman, Don Ross, David Spurrett ve John Collier, *Every Thing Must Go* (Oxford: Oxford University Press, 2007).

7. Fizikçiler, kuantum mekaniğinin Çoklu Dünyalar yaklaşımı gözüyle sonsuz sayıda evrenin bulunmasıyla ilgili net ifadeler kullanmazlar. Kuşkusuz, sonsuz sayıda olasılık dalgası şekli vardır. Uzayın belli bir noktasında bile, olasılık dalgasının değerini sürekli olarak değiştirebilirsiniz; bu nedenle de olasılık dalgası sonsuz sayıda değişik değerlere sahip olabilir. Ancak, olasılık dalgaları bir sistemin bizim doğrudan erişimimiz olan bir parçası değildir. Bu dalgalar belli bir durum için olası farklı sonuçlarla ilgili bilgi içerir ve bu sonuçların sonsuz sayıda çeşitlilikleri olması gerekmez. Matematik bilgisi olan okur, kuantum dalgalarının (dalga fonksiyonu) Hilbert uzayında yer aldığını fark edecektir. Eğer bu Hilbert uzayının sonlu sayıda boyutu varsa, o dalga fonksiyonuyla tanımlanan fiziksel sistem üzerinde yapılan ölçümlerde sonlu sayıda olası farklı sonuç olur (diğer bir deyişle, herhangi bir Hermityen işlemcinin sonlu sayıda farklı özdeğeri olacaktır). Bu da sonlu sayıda gözlem ya da ölçüm için sonlu sayıda çoklu dünya anlamına gelir. Sınırlı bir enerjiye sahip olacak şekilde ve herhangi bir sınırlı uzay hacminin içinde gerçekleşen fiziksel süreçlerle ilişkilendirilen Hilbert uzayının (IX. Bölüm'de daha ayrıntılı ele alınacağı üzere) ister istemez sınırlı boyutları olması gerektiği düşünülür. Buradan da dünyaların sayısının da benzer biçimde sonlu olacağı anlamı çıkar.

8. Bkz. Peter Byrne, *The Many Worlds of Hugh Everett III* (New York: Oxford University Press, 2010), s. 177.

9. Yıllar içinde Neill Graham; Bryce DeWitt; James Hartle; Edward Farhi, Jeffrey Goldstone ve Sam Gutmann; David Deutsch; Sidney Coleman; David Albert ve aralarında benim de bulunduğum diğerlerinden oluşan bir grup fizikçi birbirlerinden bağımsız bir şekilde, kuantum mekaniğindeki olasılığın doğasını anlama açısından önem taşıyan çarpıcı bir matematiksel gerçekle karşılaştılar. Matematik bilgisi olan okur için bunu biraz açıklayayım: Diyelim, $|\psi\rangle$ kuantum mekanik bir sistemde dalga fonksiyonu olsun; yani Hilbert uzayı H'nin elemanı olan bir vektör. Bu nedenle, sistemin n-özdeş kop-

yalarının dalga fonksiyonu $|\psi\rangle^{\otimes n}$ olur. A, özdeğerleri (eigenvalues) α_k ve özfonksiyonları (eigenfunctions) $|\lambda_k\rangle$ olan herhangi bir Hermityen işlemci olsun. $F_k(A)$ ise, $H^{\otimes n}$deki belli bir durum için $|\lambda_k\rangle$nın kaç kere ortaya çıktığını sayan "frekans" işlemci olarak tanımlansın. Bahsettiğim matematiksel sonuç, $\lim_{n\to\infty}[F_k(A)\,|\psi\rangle^{\otimes n}] = |\langle\psi\,|\lambda_k\rangle|^2\,|\psi\rangle^{\otimes n}$ dir. Diğer bir deyişle, sistemin özdeş kopyalarının sayısı sınır tanımaksızın arttıkça, bileşik sistemin dalga fonksiyonu, $|\langle\psi\,|\lambda_k\rangle|^2$ özdeğerine sahip olan frekans operatörünün bir özfonksiyonuna yaklaşır. Bu, önemli bir bulgudur. Frekans operatörünün özfonksiyonu olma durumu, belirtilen sınır içinde, A'yı ölçen bir gözlemcinin, α_k değerini $|\langle\psi\,|\lambda_k\rangle|^2$ kesirli sayısı kere bulması demektir –bu da kuantum mekaniksel olasılığın meşhur Born kuralının en kestirme biçimde ortaya çıkması anlamına gelir. Çoklu Dünyalar bakış açısından bakıldığında, bu sonuca göre, kesirli sayı kere α_k'nın gözlenmiş olmasının Born kuralıyla uyuşmadığı dünyalarda gelişigüzel büyüklükteki *n* değerlerine yaklaştıkça, bu dünyaların Hilbert uzayı normu sıfır olacaktır. Bu anlamda, sanki kuantum mekaniği olasılığı Çoklu Dünyalar yaklaşımında doğrudan bir yorum bulabilmektedir. *n* sonsuza giderken Hilbert uzayı normları gözlenemeyecek kadar küçülen gözlemciler hariç, tüm gözlemciler, Çoklu Dünyalar yaklaşımı içinde, frekansları standart kuantum mekaniği frekansları ile uyuşan sonuçlar göreceklerdir. Bu her ne kadar oldukça umut veren bir sonuç gibi gözükse de aslında pek de ikna edici değildir. Küçük bir Hilbert uzayı normu olan ya da normu *n* sonsuza gittikçe sıfıra yaklaşan bir gözlemcinin önemsiz olduğunu ya da hiç bulunmadığını nasıl söyleyebiliyoruz? Bu gibi gözlemcilerin kural dışı ya da "olasılık dışı" olduklarını söylemek istiyoruz ama bir vektörün Hilbert uzayı normu ile bu nitelemeler arasındaki bağlantıyı nasıl kuruyoruz? Bu konuda verilecek bir örnek sorunu açıklayabilir. Yukarı-dönü (spin-up) $|\uparrow\rangle$ ve aşağı-dönü (spin-down) $|\downarrow\rangle$ durumlarının olduğu iki boyutlu bir Hilbert uzayında, $|\psi\rangle = 0{,}99\,|\uparrow\rangle + 0{,}14\,|\downarrow\rangle$ gibi bir durumu düşünelim. Bu durum, yukarı-dönünün ölçülme olasılığını yaklaşık 0,98, aşağı-dönününkini ise 0,02 olarak verir. Bu dönü sisteminin *n* sayıda, $|\psi\rangle^{\otimes n}$, kopyaları olduğunu düşünürsek, o zaman *n* sonsuza gidince, bu vektörün açılımındaki terimlerin büyük çoğunluğunda yukarı-dönü ve aşağı-dönü durumları kabaca aynı sayıda olacaktır. O halde, gözlemcilerin (deneycinin kopyaları) bakış açısından, büyük sayıda bir çoğunluğun yukarı-dönüleri ve aşağı-dönüleri görme oranları kuantum mekaniğindeki tahminlerle uyuşmayacaktır. $|\psi\rangle^{\otimes n}$ nin açılımında yalnızca yüzde 98 oranında yukarı-dönü ve yüzde 2 oranında aşağı-dönünün olduğu son derece az terim, kuantum mekaniği beklentileriyle uyuşacaktır. Yukarıdaki sonuca göre, bu durumlar *n* sonsuza gittikçe sıfır-olmayan Hilbert uzayı normundaki yegâne durumlardır. O halde, bir bakıma, $|\psi\rangle^{\otimes n}$ açılımındaki terimlerin büyük bir çoğunluğunun (deneycinin kopyalarının büyük çoğunluğu) "mevcut olmadığı" düşünülmelidir. Buradaki güçlük bunun ne anlama geldiğidir.

Ben de kuantum mekaniği ders notlarımı hazırlarken kendi yaptığım çalışmalarda yukarıda açıkladığım matematiksel sonucu buldum. Kuantum mekaniğinin olasılık yorumunun doğrudan matematiğin formalizminden çıktığını görmek inanılmaz derecede heyecan vericiydi –öyle sanıyorum ki adlarını saydığım (s. 421) ve benden önce bu sonuçlara ulaşan fizikçiler de aynı duyguyu yaşamışlardır. Bu sonucun ana akım fizikte çok az biliniyor olması gerçekten hayret verici. Örneğin, bundan söz eden hiç bir standart kuantum fiziği kitabına rastlamadım. Bu sonuca bağlı olarak benim çıkarımım, bu sonucun, (1) dalga fonksiyonunun Born olasılık yorumuna güçlü bir matematiksel destek sağladığı –Born bu yorumu "tahmin etmemiş" olsa da matematik birilerini bunu eninde sonunda bulmaya yöneltecekti; (2) olasılık yorumuna tutarlılık sınaması oluşturduğu yönündedir –bu matematiksel sonuç geçerli olmamış olsaydı, dalga fonksiyonunun olasılık yorumunun iç mantığı zayıf kalacaktı.

10. "Zaxtarcı mantık" ifadesini, Çoklu Dünyalar'da yaşayan her bir kişinin hangi dünyaya ait olduğunu bilmemesinden kaynaklanan durum nedeniyle olasılık kavramının giriş yapmış olduğu çerçeveyi anlatmak için kullanmaktayım. Lev Vaidman, Zaxtar gibi bir senaryonun önemli özelliklerinin ciddiye alınmasını önerir. Vaidman'a göre, Çoklu Dünyalar yaklaşımında olasılıklar, bir deneycinin ölçümü yapıp tamamlamasıyla sonuçlarını okuması arasındaki zaman aralığında devreye girer. Ancak, bu bakış açısına kuş-

kuylayaklaşanlara göre bu bilimsel açıdan kabul edilir bir şey değildir: Kuantum mekaniğinde ve genel olarak bilimde bir deneyin sonucunda nelerin meydana gelebileceği konusunda tahmin yürütürsünüz, ne olup bittiği konusunda değil. Dahası, kuantum olasılığının temelinin önlenebilir bir gecikmeye dayanması riskli bir yoldur: Eğer bir bilim insanı yaptığı deneyin sonucuna hemen ulaşırsa, kuantum olasılığı da zaten resimden çıkacaktır. (Bu konuda ayrıntılı bir tartışma için, bkz. David Albert, "Probability in the Everett Picture", Simon Saunders, Jonathan Barrett, Adrian Kent ve David Wallace (der.) *Many Worlds: Everett, Quantum Theory, and Reality* içinde, (Oxford: Oxford University Press, 2010) ve *"Uncertainty and Probability for Branching Selves"*, Peter Lewis, philsciarchive.pitt.edu/archive/00002636.) Vaidman'ın önerisine ve bu türden bir bilmemezlik olasılığına ilişkin son olarak şunu belirtmek isterim: Yaşadığımız evrende yazı tura atsam ve yüzde 50 olasılıkla paranın yazılı kısmının geleceğini söylesem, bunun nedeni, zaten gerçekleşebilecek en çok iki seçeneğin bulunmasıdır. Şimdi gözlerimi kapatıp elektronun konumunu ölçtüğümü varsayayım. Biliyorum ki dedektör göstergem ya Strawberry Fields ya da Grant's Tomb diyecek; hangisini der bilemem. Siz kalkıp bana, "Brian, söyle bakalım, dedektörün Grant's Tomb deme olasılığı nedir?" diye sorarsanız, yazı tura örneğini aklıma getirip tam da aynı mantığı kullanarak yanıt verecekken, duraksayıp düşünürüm: "Gerçekten *benim* karşılaşabileceğim iki olasılık mı var? Beni diğer Brian'dan ayıran *tek* fark şu an benim dedektörümde görünen yazı. Dedektörüm bambaşka bir sonuç gösterse, o zaman ben, ben değilim, öteki Brain'ım demek olacak." Demek ki ekranımın ne göstereceğini bilmesem de ben *–yani şu an beynimde konuşan kişi–* zaten başka bir olasılık yaşayamazdım; bu da demek oluyor ki benim bilmemezliğim olasılıksal bir akıl yürütmeye neden olmuyor.

11. Bilim insanlarının yargılarında objektif olmaları beklenir. Ancak şunu itiraf etmekte bir sakınca görmüyorum ki matematiksel açıdan ekonomik oluşu ve gerçeklikle ilgili oldukça geniş kapsamlı fikirler öne sürmesi nedeniyle, Çoklu Dünyalar yaklaşımının doğru olmasını diliyorum. Diğer yandan, olasılığı bu yaklaşımın içine yerleştirmenin zorluğu nedeniyle, sağlıklı bir kuşkuculuğu da elden bırakmıyorum. Bu nedenle, her türlü görüşe son derece açığım. Bu gibi görüşlerden iki tanesi metindeki tartışmaya iyi bir dayanak oluşturuyor. Bunlardan bir tanesi, tamamlanmamış Kopenhag yaklaşımını tam bir kuram haline getirmeye uğraşan görüş; diğeri ise aslında içinde birçok dünyanın bulunmadığı Çoklu Dünyalar yaklaşımını öne süren görüştür.

Giancarlo Ghirardi, Alberto Rimini ve Tullio Weber'in öncülük ettiği birinci görüş, olasılık dalgalarının çökmesine izin verecek şekilde Schrödinger matematiğini değiştirerek Kopenhag yaklaşımını anlaşılır kılmaya çalışmaktadır. Fakat bunu söylemek kolay, yapmak zordur. Değiştirilmiş matematiğin, parçacıklar ya da atomlar gibi küçük şeylerin olasılık dalgalarını kolay kolay etkilememesini isteriz çünkü kuramın bu alandaki başarılı tanımlamalarını değiştirmek istemeyiz. Bir laboratuvardaki kocaman bir cihaz söz konusu olursa, bu gibi değişikliklerin birleşik olasılık dalgasının çökmesine yol açacak şekilde etkili olması gerekir. Ghirardi, Rimini ve Weber'in geliştirdikleri matematik de tam anlamıyla buna işaret etmektedir. Değiştirdikleri denklemlerle, ölçüm gerçekten olasılık dalgasının çökmesine neden olmakta, Şekil 8.6'da izlenen süreci harekete geçirmektedir.

1920'lerde ilk olarak Prens Louis de Broglie tarafından, yıllar sonra ise David Bohm tarafından daha kapsamlı şekilde geliştirilen ikinci görüş ise Everett'inkine benzer bir matematiksel önermeyle başlamaktadır. Schrödinger denklemi, her zaman ve her durumda kuantum dalgalarının evrimini düzenlemelidir. Bu nedenle, de Broglie-Bohm kuramında da olasılık dalgaları aynen Çoklu Dünyalar yaklaşımında olduğu gibi gelişir. Bununla birlikte, de Broglie–Bohm kuramı daha önce yanlış olduğunu vurguladığım bir düşünceyi ileri sürerek devam eder: De Broglie-Bohm yaklaşımında bir olasılık dalgasında temsil edilen çoklu dünyalardan biri hariç diğer tümü sadece *olası* dünyalardır; yalnızca bir tanesi gerçek olarak aralarından sıyrılır.

Bunu sağlamak için yaklaşım, bildiğimiz dalga *ya da* parçacık (ölçümü yapılana dek her elektron bir dalgadır, sonrasında parçacıktır) kuantum özelliğini bir tarafa atar ve

dalgaları *veya* parçacıkları kapsayan bir resim çizer. Standart kuantum görüşünün aksine, de Broglie ve Bohm, parçacıkları küçük, yerleşik birimler olarak kabul ederler. Onlara göre, bu parçacıklar belli bir yol izler ve aynen klasik yaklaşımda olduğu gibi sıradan, anlaşılır bir gerçeklik oluştururlar. Tek "gerçek" dünya, parçacıkların tek, kesin konumlarında bulundukları dünyadır. Kuantum dalgaları o zaman çok farklı bir rol üstlenirler. Bir sürü farklı gerçekliğe kapı aralamak yerine, bir kuantum dalgası sadece *parçacıkların hareketlerini yönlendirir*. Kuantum dalgası, parçacıkları dalganın büyük olduğu noktalara doğru iter ki parçacıklar bu noktalarda bulunabilsin; dalganın küçük olduğu noktalardan da uzaklaştırır ki oralarda dalgaya rastlanmasın. Bu sürece açıklama getirmek için de Broglie ve Bohm bir kuantum dalgasının parçacık üzerindeki etkisini tanımlayacak ilave bir denkleme ihtiyaç duydu ve bu nedenle yaklaşımlarında Schrödinger denklemi, tamamen hükmünü yitirmese de başka bir matematiksel oyuncu ile aynı sahneyi paylaşıyordu. (Matematik bilgisi olan okur bu denklemleri aşağıda görebilir.)

Uzun yıllar boyunca konuşulup duran şey, de Broglie-Bohm yaklaşımının gereksizce taşıdığı yükler nedeniyle dikkate değer olmadığı yönündeydi. Bu, yaklaşımın yalnızca ikinci bir denkleme değil, aynı zamanda hem dalgaları hem de parçacıkları kapsayan iki kat daha uzun bir malzeme listesine sahip olmasından kaynaklanıyordu. Son zamanlarda, bu eleştirilerin bir bağlama ihtiyacı olduğunu belirten görüşler artmaya başladı. Ghirardi-Rimini-Weber çalışmasının ortaya koyduğu gibi, standart Kopenhag yaklaşımına getirilen yenilikte bile ikinci bir denkleme ihtiyaç vardı. Bunun yanı sıra, hem dalgaları hem de parçacıkları kapsamanın büyük bir getirisi var: buradan oraya belli bir yol izleyerek giden nesneler kavramını yeniden kullanmaya başlamak, Kopenhagcıların herkesi vazgeçmeye biraz kolayca ikna etmiş oldukları gerçeklik anlayışının bu temel ve bilindik özelliğine bir geri dönüş. Daha teknik içerikli eleştirilere göre, yaklaşım *yerel değildi* (non-local) (yeni denkleme göre, belli bir konumda uygulanan etkiler anında uzak konumları da etkiliyor gözükmektedir). Bu da yaklaşımın özel görelilikle uyumunu zorlaştırmaktadır. Bir önceki eleştirinin geçerliliği, Kopenhag yaklaşımının bile deneylerle de kanıtlanmış, yerel-olmayan özelliklerinin bulunduğu ileri sürülerek zayıflatılmıştır. Göreliliğe ilişkin ikinci nokta ise kesinlikle önemli olan ve hâlâ tam bir çözüm getirilememiş bir noktadır.

De Broglie–Bohm kuramına karşı direncin bir nedeni, kuramın matematiksel formalizminin yeterince anlaşılır bir şekilde sunulmamış olmasıdır. Matematik bilgisi olan okur için işte kuramın en dolaysız çıkarımı:

Parçacığın dalga fonksiyonu için Schrödinger'in denklemiyle başlayın; $H\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$. Burada, bir parçacığın x konumunda olabilmesi için olasılık yoğunluğu, $\rho(x)$, standart $\rho(x) = |\psi(x)|^2$ denklemiyle verilir. Sonra, parçacığa, x noktasında $v(x)$ fonksiyonuyla verilen bir hıza sahip olacak şekilde belli bir yörünge atadığınızı düşünün. Bu hız fonksiyonu nasıl bir fiziksel koşulu yerine getirmelidir? Kuşkusuz, olasılığın korunmasını sağlamalıdır: Eğer parçacık bir bölgeden öbürüne $v(x)$ gibi bir hızla hareket ediyorsa, olasılık yoğunluğu da ona göre ayarlanabilmelidir: $\frac{\partial\rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0$. Şimdi $v(x)$'i çözmek ve $v(x, t) = \frac{-1}{\rho(x,t)}\int\frac{\partial\rho}{\partial t} = \frac{\hbar}{m}\mathrm{Im}(\frac{\psi^{*}\frac{\partial\psi}{\partial x}}{\psi^{*}\psi})$ olduğunu (burada m parçacığın kütlesidir) bulmak kolaydır.

Schrödinger denklemiyle birlikte bu ikinci denklem, de Broglie–Bohm kuramını açıklamaktadır. Bu noktada dikkat edin ikinci denklem doğrusal değildir; ancak bu durumun bütünüyle doğrusallığını koruyan Schrödinger denklemi üzerinde de bir etkisi yoktur. Şu halde yapılabilecek en doğru yorum, Kopenhag yaklaşımındaki boşlukları doldurmayı amaçlayan bu yaklaşımın, dalga fonksiyonuna doğrusal olmayan bir şekilde bağlı yeni bir denklem eklediğidir. Temelde yatan dalga denkleminin, Schrödinger'in denkleminin, gücü ve etkinliği bu yaklaşımda da korunmuştur.

Şunu da eklemeliyim ki, denklemin çok sayıda parçacığa genellenebilmesi hemen mümkündür: Yeni denklemin sağ tarafına, çok parçacıklı sistemin dalga fonksiyonunu $\psi(x_1, x_2, x_3, \ldots x_n)$ yerleştiririz ve k'inci parçacığın hızını hesaplarken k'inci koordinata

göre (kolaylık açısından tek boyutlu uzayda çalışıyoruz; daha yüksek boyutlar için koordinatların sayısını uygun bir şekilde artırırız) türev alırız. Bu genellenmiş denklem yaklaşımın yerel-olmayan özelliğini göstermektedir: *k*'inci parçacığının hızı, anında, diğer parçacıkların konumlarına da bağlıdır (parçacıkların koordinat konumları dalga fonksiyonunun argümanlarıdır).

12. İşte Kopenhag yaklaşımıyla Çoklu Dünyalar yaklaşımı arasındaki ayrımı ortaya koyan, prensipte uygulanabilecek somut bir deney. Bir elektron, diğer tüm temel parçacıklar gibi, *dönü* denilen bir özelliğe sahiptir. Bir topaç nasıl bir eksen etrafında hızla dönerse, elektron da öyle döner. Ancak önemli bir farkla: Elektron dönüsünün hızı –eksenin yönü ne olursa olsun– her zaman sabittir. Aynı kütlesi ve elektrik yükü gibi bu da elektronun kendine özgü temel bir özelliğidir. Tek değişken, dönünün belli bir eksen etrafında saat yönünde mi yoksa saat yönünün tersine mi olduğudur. Eğer dönü saat yönünün tersine ise o eksen etrafında elektronun dönüsünün *yukarı* doğru olduğunu, eğer saat yönünde ise dönünün *aşağı* doğru olduğunu söyleriz. Kuantum mekaniği belirsizliği nedeniyle, verilen bir eksende elektronun dönüsü belliyse –söz gelimi *z*-ekseni etrafındaki elektron dönüsü yüzde 100 kesinlikle yukarı ise– o zaman, elektronun *x* ya da *y* eksenleri etrafındaki dönüsü belirsizdir: *x*-ekseni etrafındaki dönü yüzde 50 yukarı, yüzde 50 aşağı doğru olmalıdır; aynı durum y-ekseni için de geçerlidir.

Söz gelimi, *z*-ekseni etrafındaki dönüsü yüzde 100 yukarı olan bir elektron var. Bunun *x*-ekseni etrafındaki dönüsünü ölçmek istiyoruz. Kopenhag yaklaşımına göre, aşağı-dönü bulursanız, elektron dönüsünün olasılık dalgası çökmüştür: Yukarı-dönü olasılığı gerçeklikten çıkmış ve tek bir sivri yapı aşağı-dönüde kalmıştır. Çoklu Dünyalar yaklaşımında ise bunun aksine hem yukarı hem de aşağı dönü sonuçları izlenir; dolayısıyla, yukarı-dönü olasılığı hâlâ bozulmamış olarak kalır.

Ortaya koyduğumuz bu iki farklı resim arasında karar vermek için şöyle bir şey düşünelim: Siz *x*-ekseni etrafında elektronun dönüsünü ölçtükten sonra, birisi fiziksel evrimi tamamıyla *geri çevirsin*. (Schrödinger denklemi de dâhil olmak üzere, fiziğin temel denklemleri zamanın tersinmesi altında değişmezliğe (time-reversal invariance) sahiptir; bu da en azından prensipte, herhangi bir evrimin geri alınabileceği anlamını taşır. Bu konunun ayrıntılı açıklamaları için bkz. *Evrenin Dokusu*.) Böyle bir tersinme her şeye uygulanabilir: elektrona, cihaza, kısacası bir deneyde kullanılan her şeye. Şimdi, eğer Çoklu Dünyalar yaklaşımı doğruysa, z-ekseni etrafında elektronun dönüsünün bir sonraki ölçümü, yüzde 100 kesinlikle, başladığımız değeri verecektir: yani yukarı-dönüyü. Bununla birlikte, eğer Kopenhag yaklaşımı (Ghirardi-Rimini-Weber formülasyonu gibi matematiksel olarak tutarlı bir versiyonunu kastediyorum) doğruysa daha farklı bir sonuca ulaşırız. Kopenhag yaklaşımına göre, *x*-ekseni etrafında elektron dönüsünü ölçüp bunun aşağı-dönü olduğunu bulduğumuz anda, zaten yukarı-dönü olma imkânı ortadan kalkar. Yukarı-dönü gerçekliğin tanımından çıkar. Ölçümü tersine çevirdiğimiz zaman, başladığımız noktaya geri dönemeyiz çünkü olasılık dalgasının bir kısmını tamamen kaybetmiş oluruz. Bu demektir ki elektronun dönüsünün z-ekseni etrafındaki daha sonraki ölçümlerinde, başladığımız anki değeri bulacağımızın yüzde 100 garantisi yoktur. Aksine, görülen odur ki yüzde 50 bulabiliriz, yüzde 50 bulamayız. Bu deneyi art arda yaparsanız ve eğer Kopenhag yaklaşımı da doğruysa, ortalama olarak, deneylerin yarısında *z*-ekseni etrafındaki elektronun dönüsünün en başta bulduğunuz değerini bulamayacaksınızdır. Buradaki güçlük tabi ki fiziksel sürecin tamamıyla geriye döndürülmesindedir. Ancak, prensipte bu deney iki kuramdan hangisinin doğru olduğu konusunda bir fikir vermektedir.

IX. Bölüm: Kara Delikler ve Hologramlar

1. Einstein, genel görelilik hesaplarında Schwarzschild'in aşırı uçlardaki konfigürasyonlarının –artık kara delikler dediğimiz– var olamayacağını matematiksel olarak ispatlamaya çalıştı. Hesaplamalarında temel aldığı matematik tamamen doğruydu. Ne var ki bir kara deliğin neden olabileceği uzay ve zamanda yüksek derecede bükülme olması

durumu dikkate alındığında, oldukça sınırlayıcı birtakım ek varsayımlarda da bulundu; varsayımlar maddenin içine çökme olasılığını ihmal ediyordu. Varsayımlar, Einstein'ın matematik formülasyonunun kara deliklerin var olma ihtimalini gösterecek kapsama sahip olmadığı anlamına geliyordu. Bu, Einstein'ın yaklaşımının bir ürünüydü; kara deliklerin gerçekten var olup olmadıklarının kanıtı değildi. Modern anlayış genel göreliğin kara delik çözümlerine izin verdiğini açıklığa kavuşturmuştur.

2. Bir sistem, maksimal entropi konfigürasyonuna ulaştıktan sonra (bir kazanda sabit bir sıcaklık derecesinde her yere aynı şekilde yayılmış buhar örneği gibi), daha fazla entropi artışı sağlayacak kapasitesini artık tüketmiş olur. Dolayısıyla, daha kesin bir ifadeyle, sistemin sağlayabileceği en yüksek değere ulaşana kadar entropi artma eğilimi gösterecektir.

3. 1972'de James Bardeen, Brandon Carter ve Stephen Hawking kara deliklerin evrimini açıklayan matematiksel yasaları anlamaya çalıştılar ve bu süreçle ilgili denklemlerin tıpkı termodinamik denklemlerine benzediğinin farkına vardılar. İki grup yasayı birbirinin diline çevirmek için yapılacak tek şey "kara deliğin ufuk alanı"nı "entropi" ile (ya da tam tersi şekilde), "kara delik yüzeyindeki kütleçekimi"ni de "sıcaklık derecesi" ile değiştirmekti. Bu bakımdan, Bekenstein'ın düşüncesinin doğru olması için, yani bu benzerliğin bir tesadüf olmayıp kara deliklerin entropisinin bulunduğunu göstermesi için, kara deliklerin sıfırdan farklı bir sıcaklık değerine sahip olması gerekmektedir.

4. Enerjideki bu çok belirgin değişikliğin nedeni açık değildir; enerji ve zaman arasındaki yakın bağlantıya dayanır. Bir parçacığın enerjisini kuantum alanının titreşim hızı olarak düşünebilirsiniz. Hızdan söz etmek, zaman kavramını akla getireceği için, enerjiyle zaman arasındaki ilişki açıktır. Kara deliklerin zaman üzerinde önemli bir etkisi vardır. Uzakta bir görüş noktasından, kara deliğin ufkuna yaklaşan bir cisim için zaman yavaşlar, ufkun bulunduğu yerde ise durur. Ufku geçince zaman ve uzay rollerini değiştirirler –kara deliğin içinde, radyal yön zamanın yönü haline gelir. Bu da demektir ki bir kara deliğin içinde pozitif enerji kavramı, kara deliğin tekilliğine doğru radyal yöndeki hareketle uyuşur. Bir parçacık çiftinin negatif enerjili elemanı ufku geçerse, gerçekten kara deliğin merkezine doğru düşecektir. Bu durumda, çok uzaklardan izleyen birisi açısından elemanın sahip olduğu negatif enerji, kara deliğin içinde bulunan birisinin bakış açısından pozitif enerji olur. Bundan da kara deliğin içerisinin bu türden parçacıkların var olabileceği bir yer olduğu sonucuna varabiliriz.

5. Bir kara delik büzüldüğü zaman, olay ufkunun yüzey alanı da büzülür. Bu durum, Hawking'in toplam yüzey alanının artacağını belirttiği görüşüyle çelişmektedir. Ancak, Hawking'in alan teoreminin klasik genel göreliliğe dayandığını hatırlayalım. Oysa biz burada kuantum süreçlerini dikkate alıyor ve çok daha ayrıntılı sonuçlara varıyoruz.

6. Daha net söylemek gerekirse, yanıtları sistemin mikroskobik ayrıntılarını tek ve kesin bir şekilde belirleyen evet-hayır sorularının minimum sayısıdır.

7. Hawking, entropiyi, Planck birimlerinde ölçülen olay ufku alanının dörde bölümü olarak bulmuştur.

8. Bölüm ilerledikçe ele alınacak görüşlerde de izleyeceğiniz gibi, bir kara deliğin mikroskobik yapısı henüz tam olarak anlaşılamamıştır. 4. Bölüm'de anlattığım gibi, Andrew Strominger ve Cumrun Vafa, 1996 yılında, kütleçekiminin şiddetinin (matematiksel olarak) giderek azaltılması halinde, bazı kara deliklerin belli sicim ve zar topluluklarına dönüşeceğini bulmuşlardır. Strominger ve Vafa bu içeriklerin olası yeniden dizilişlerini sayarak Hawking'in ünlü kara delik entropisi formülünü bugüne kadarki en açık ve anlaşılır biçimde yeniden bulmuşlardır. Buna rağmen, bu içerikleri daha fazla bir kütleçekim şiddetinde, yani kara deliğin gerçekten oluştuğu durumda, tanımlayamamışlardır. Samir Mathur ve bazı çalışma arkadaşları gibi başka yazarlar, kara deliklerin "tüy yumakları" (fuzz balls) olarak adlandırdıkları, kara deliğin içerisinde her tarafa dağılmış halde bulunan titreşen sicimlerin bir birikimi olma olasılığı gibi farklı fikirler de ileri sürmüşlerdir. Bunlar kesinleşmemiş düşüncelerdir. Bu bölümün ilerleyen sayfalarında ("Sicim Kuramı ve Holografi" başlığı altında) ele alınan sonuçlar bu soru üzerindeki en keskin kavrayışlardan bazılarını verecektir.

9. Daha net belirtmemiz gerekirse, serbest düşme hareketi yapma durumuna geçerek uzayın bir bölgesindeki kütleçekimi ortadan kaldırılabilir. Bölgenin büyüklüğü kütleçekimi alanının değiştiği ölçeklere bağlıdır. Kütleçekimi alanı sadece büyük ölçeklerde değişiklik gösteriyorsa (yani kütleçekimi alanı her yerde aynı değeri alıyor ya da buna yakın özellikteyse), serbest düşme hareketiniz geniş bir uzay alanında kütleçekimini ortadan kaldırabilir. Ancak, kütleçekimi alanı –söz gelimi, vücudunuz gibi– kısa mesafe ölçeklerinde değişiklik gösteriyorsa o zaman ayaklarınızda kütleçekimini ortadan kaldırırken başınızda yine de hissedersiniz. Bu durum özellikle düşüşünüzün sonlarında etkili olur, çünkü kara delik tekilliğine yakınlaştıkça kütleçekimi alanı daha da güçlü hale gelir; tekilliğe olan uzaklığınız azaldıkça şiddeti keskin bir şekilde artar. Çabuk değişimler, tekilliğin etkilerini ortadan kaldırabilmenin mümkün olmadığı anlamına gelir. Bu da vücudunuzun fazlasıyla gerilmesi ve en sonunda kopma noktasına gelmesi demektir, çünkü ayaklarınızdaki kütleçekimi kuvveti, başınızdaki kütleçekimi kuvvetinden daha fazla olacaktır.

10. Bu tartışma, 1976'da William Unruh'un yaptığı ve birinin hareketini karşılaştığı parçacıklarla ilişkilendiren keşfin örneklenmesidir. Unruh, boş bir uzayda hızlanılırsa, hareketin belirlediği bir sıcaklıkta bir parçacık banyosuyla karşılaşılacağını keşfetmiştir. Genel görelilik bize, birinin ivmelenme oranını belirlemek için serbest düşüşü izleyenlerin koyduğu ölçüte göre kıyaslama yapılması gerektiğini söylemektedir (bkz. *Evrenin Dokusu*, 3. Bölüm). Serbest düşme hareketi içinde olmayan uzaktaki bir gözlemci, bu nedenle, kara delikten çıkan ışınımı görürken, serbest düşme hareketi içinde olan gözlemci görmeyecektir.

11. R yarıçaplı bir küre içindeki M kütlesi $c^2R/2G$'yi aşarsa, bir kara delik oluşur. Burada, c ışığın hızı, G ise Newton'un kütleçekimi sabitidir.

12. Gerçekte, madde kendi ağırlığı altında çöküp bir kara delik meydana gelince olay ufku ele aldığımız bölgenin sınırları içinde kalacaktır. Bu demek oluyor ki bölgenin entropisini henüz en üst düzeye çıkarmamışız. Ancak bunu kolayca halledebiliriz. Kara deliğe çok daha fazla madde koyun ve olay ufkunun bölgenin ilk durumundaki sınırına kadar şişmesini sağlayın. Bu biraz daha ayrıntı içeren süreç sonunda entropi tekrar yükseleceğinden, bölgeye koyduğumuz maddenin entropisi, bölgeyi dolduran kara deliğin entropisinden, yani Planck birimlerinde bölgenin yüzey alanından, daha düşük olacaktır.

13. G. 't Hooft, "Dimensional Reduction in Quantum Gravity," A. Ali, J. Ellis, ve S. Randjbar-Daemi (der.), *Salam Festschrift* içinde, (River Edge, N.J.: World Scientific, 1993), s. 284–96 (QCD161:C512:1993).

14. "Yorgun" ya da "tükenmiş" ışığın, kara delikten (ya da herhangi bir kütleçekimi kaynağından) uzaklaştıkça harcadığı enerji nedeniyle dalga boyu uzamış (kızıla kayan) ve titreşim frekansı azalan ışık olduğunu tartışmıştık. Bilindik benzer başka döngüsel süreçlerde olduğu gibi (Dünya'nın Güneş etrafında dönüşü, Dünya'nın kendi ekseni etrafındaki dönüşü vb.) ışığın titreşimleri geçen süreyi tanımlamak için kullanılabilir. Gerçekten de uyarılmış Cesium-133 atomlarının yaydığı ışığın titreşimleri günümüzde bilim insanları tarafından saniyeyi *tanımlamak* için kullanılmaktadır. Yorgun ışığın daha yavaş titreşim frekansı, kara deliğin yakınlarında zamanın –uzaktan bakan gözlemci tarafından izlenince– yavaş aktığı anlamına gelir.

15. Bilim alanında yapılan en önemli keşiflerde, elde edilen en son sonuç daha önce yapılmış çalışmalar sayesinde ortaya konulabilir. Aynen burada olduğu gibi. 't Hooft, Susskind ve Maldacena'nın yanı sıra, bu sonuca ulaşılmasına katkı sağlayan ve sonuçları geliştiren araştırmacılar arasında Steve Gubser, Joe Polchinski, Alexander Polyakov, Ashoke Sen, Andy Strominger, Cumrun Vafa, Edward Witten ve diğerleri sayılabilir.

Matematik bilgisi olan okur için, Maldacena'nın elde ettiği sonucun daha kesin ifadesini kısaca anlatayım: N bir zar yığınındaki üç-zar sayısı; g de Tip IIB sicim kuramındaki eşleşme sabiti olsun. gN küçük bir sayıyken, birden çok küçük bir sayı, zar yığını üzerinde hareket eden düşük enerjili sicimlerle fizik iyi bir biçimde açıklana[redacted]. Bu sicimler, belli bir dört boyutlu süpersimetrik konformal olarak değişmez kuant[redacted]lan kuramıyla tanımlanır. Ancak gN büyük bir sayı olursa, alan kuramının eşleşmesi [redacted]vetlidir ve ku-

ramın analitik olarak ele alınması güçleşir. Fakat bu durumda, Malcadena'nın bulgularına göre, zar yığınının yakın ufuk geometrisinde, yani $AdS_5 \times S^5$ (anti-de Sitter beş-uzay çarpı beş küre), hareket eden sicimlere dair bir tanımlama kullanabiliriz. Bu uzayların yarıçapı *gN* tarafından kontrol edilir (daha kesin bir ifadeyle yarıçap $(gN)^{1/4}$) ile orantılıdır); bu nedenle büyük *gN* için $AdS_5 \times S^5$ eğriliği küçüktür. Bu da sicim kuramı hesaplamalarını yapılabilir kılar (özellikle, hesaplamalar Einstein kütleçekiminin özel bir değişkesinde yapılanlar ile büyük oranda uygunluk gösterir). Sonuç olarak, *gN* değeri küçükten büyüğe doğru değiştikçe, fizik de dört boyutlu süpersimetrik konformal olarak değişmez kuantum alan kuramı bağlamında tanımlanmaktan çıkıp $AdS_5 \times S^5$ geometrisinde on boyutlu sicim kuramıyla tanımlanır. Bu da AdS/CFT (anti-de Sitter uzay/konformal alan kuramı) karşılaştırması diye bilinmektedir.

16. Her ne kadar Maldacena'nın ileri sürdüklerinin ispatı erişimimiz dışında kalmışsa da son yıllarda sınır ve hacim tanımları arasındaki bağlantı gittikçe daha iyi anlaşılmıştır. Örneğin, herhangi bir eşleşme sabiti değeriyle doğru sonuçlar veren bir grup hesaplamanın bulunduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, sonuçlar küçük değerden büyük değere açık bir şekilde izlenebilmektedir. Bu durum, hacim bakış açısından yapılan fizik tanımlamalarının sınır bakış açısından yapılan tanımlamalara (ya da tam tersi) dönüştüğü bir "biçim değişimi" sürecine kapı aralamaktadır. Bu tür hesaplamalarla, sınır çerçevesinden bakıldığında etkileşen parçacıklardan oluşan zincirlerin, nasıl hacim çerçevesindeki sicimlere dönüşebildikleri –iki tanımlama arasında oldukça ikna edici bir interpolasyon– gösterilmiştir.

17. Daha net belirtmek gerekirse, bu, Maldacena'nın elde ettiği sonuçların değişik bir biçimidir; sınırdaki kuantum alan kuramı Maldacena'nın araştırmalarında ortaya çıkan gibi değildir, bunun yerine kuantum renk dinamiğine çok benzeyecek şekilde değiştirilmiştir. Bu değişik biçim aynı zamanda hacim kuramına paralel düzenlemeler de getirmektedir. Özellikle, Witten'ın çalışmalarını takiben, sınır kuramındaki yüksek sıcaklık iç kısımdaki tanımlamada bir kara deliğe çevrilir. Takiben, iki tanımlama arasındaki sözlük göstermektedir ki kuark-glüon plazmanın zor viskozite hesaplamaları, kara delik olay ufkunun belli deformasyonlara verdiği tepkiye çevrilmektedir –oldukça teknik ancak kolay yapılabilir bir hesaplamadır.

18. Sicim kuramına tam bir tanım bulmayı amaçlayan bir başka yaklaşım, Tom Banks, Willy Fischler, Steve Shenker ve Leonard Susskind tarafından geliştirilen ve Matrix kuramı olarak bilinen (M-kuramındaki M'nin olası bir başka anlamı) alanda yapılan ilk çalışmalardan doğmuştur.

X. Bölüm: Evrenler, Bilgisayarlar ve Matematiksel Gerçeklik

1. 10^{55} gram olarak aldığım sayı, bugün gözlemleyebildiğimiz evrenin içeriğini açıklamaktadır. Ancak, çok daha önceki zamanlarda bu içeriklerin sıcaklığı çok daha yüksek olacaktır, bu nedenle çok daha fazla enerji içereceklerdir. Bu nedenle, 10^{65} gram gibi bir değer, evrenimizin yaklaşık bir saniyelik halinden sonraki evriminin tekrarı için ufak bir zerrenin içine toplamanız gereken miktarın daha iyi bir tahmini olacaktır.

2. Hızınız ışık hızından daha küçük olacak şekilde sınırlanmış olduğundan, kinetik enerjinizin de sınırlı olacağını düşünebilirsiniz. Ancak böyle değildir. Hızınız ışık hızına yaklaştıkça, enerjiniz daha da artar; özel göreliliğe göre, bunun herhangi bir sınırı yoktur. Matematiksel olarak, enerjiniz için formül şudur: $E = mc^2 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ Burada, *c* ışık hızı, *v* sizin hızınızdır. Görülebileceği gibi, *v c*'ye yaklaştıkça, *E* sınırsız olarak büyür. Ancak şurasını unutmamak gerekir ki bu açıklama sabit bir noktadan, örneğin Dünya üzerindeki bir noktadan, sizin düştüğünüzü izleyen birisinin bakış açısına göredir. Sizin açınızdan bakıldığında, siz düşerken kendinizin sabit olduğunuzu, çevrenizdekilerin hız kazandığını hissedersiniz.

3. Şu andaki bilgilerimizle, bu tür tahminlerde önemli esneklikler olduğunu söyleyebiliriz. "10 gram" değeri şöyle bir düşünceden kaynaklanmaktadır: Şişmenin gerçekleş-

tiği enerji ölçeğinin yaklaşık 10^{-5} Planck enerji ölçeğine eşit olduğu düşünülmektedir. Bu da bir proton kütlesinin denk geldiği enerji değerinin 10^{19} katı enerjiye eşittir. (Eğer şişme evresi daha yüksek bir enerji ölçeğinde gerçekleşmiş olsaydı, ortaya atılan modellere göre, evrenin ilk dönemlerinde meydana gelmiş kütleçekimi dalgaları gözlenebilmiş olurdu.) Alışkın olduğumuz birimlerle, Planck ölçeği yaklaşık 10^{-5} gramdır (Gündelik standartlara göre küçük ancak bu tür enerjilerin tek tek parçacıklar tarafından taşındığı temel parçacık fiziği ölçekleri bağlamında büyük bir değerdir.). Bu nedenle, bir inflaton alanının enerji yoğunluğu, doğrusal boyutu Planck uzunluğunun (kuantum belirsizliğinden hatırlarsanız, enerjiler ve uzunluklar birbirlerine ters orantılı olarak ölçeklenir) yaklaşık 10^5 katı, yani 10^{-28} santimetre olan her bir küp hacim için 10^{-5} gram olmuş olmalıdır. Bir kenarı 10^{-26} santimetre olan bir hacimde bu tür bir inflaton alanının taşıdığı toplam kütle-enerji, 10^{-5} gram/(10^{-28} santimetre)^3 $\times$ (10^{-26} santimetre)^3 olur ki bu da yaklaşık 10 gramdır. *Evrenin Dokusu*'nu okuyan okurlar orada biraz farklı bir değer kullandığımı hatırlayacaklardır. Farkın nedeni, inflaton enerji ölçeğinin biraz daha yüksek olduğu varsayımından kaynaklanmaktadır.

4. Hans Moravec, *Robot: Mere Machine to Transcendent Mind* (New York: Oxford University Press, 2000). Ayrıca bkz. Ray Kurzweil, *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology* (New York: Penguin, 2006).

5. Örneğin, bkz. Robin Hanson, "How to Live in a Simulation," *Journal of Evolution and Technology* 7, no. 1 (2001).

6. Church-Turing tezine göre, evrensel Turing tipi denilen herhangi bir bilgisayar bir başkasının eylemlerini benzetimleyebilir; bu yüzden benzetim içindeki bir bilgisayarın, yani kendisi de Dünya'nın tümünün benzetimini yapan bir ana bilgisayar tarafından benzetimlenmekte olan bir bilgisayarın, ana bilgisayarın yaptıklarına eşdeğer işleri gerçekleştirmesi son derece mantıklıdır.

7. Filozof David Lewis, Modal Realizm adını verdiği yaklaşımında benzer bir fikir ileri sürmüştür. Bkz. *On the Plurality of Worlds* (Malden, Mass.: Wiley-Blackwell, 2001). Ancak, Lewis'in olası tüm evrenleri ele alma motivasyonu Nozick'inkinden farklıdır. Lewis, "Hitler savaşı kazanmış olsaydı, bugün dünya çok farklı olurdu," gibi karşı olgusal ifadelerin de desteklenebileceği bir bağlamın olmasını istiyordu.

8. John Barrow, *Pi in the Sky* (New York: Little, Brown, 1992) adlı kitabında aynı konuya değinmiştir.

9. VII. Bölüm'ün 10. notunda belirtildiği gibi, bu sonsuzluğun büyüklüğü, 1, 2, 3, ... gibi tam sayılardan oluşan sonsuz bir kümenin büyüklüğünü aşar.

10. Bu, meşhur Sevil Berberi paradoksunun bir çeşitlemesidir. Bu paradoksta berber kendilerini tıraş etmeyen herkesi tıraş eder. Soru şudur: Berberi kim tıraş edecektir? Berber bir kadındır ve tıraşa ihtiyacı yoktur gibi kolay bir cevabı engellemek için berberin bir erkek olduğu koşulu genellikle öne sürülür.

11. Schmidhuber'e göre verimli bir strateji, bilgisayarın benzetimli her bir evreni "birbirlerine geçmiş biçimde" zamanda ileriye doğru geliştirmesini sağlamalıdır: Birinci evren, bilgisayarın her bir diğer zaman adımında güncellenirken, ikinci evren her bir diğer kalan zaman adımında güncellenecek, üçüncü evren ise diğer iki evrenin güncellenmesine ayrılmış zaman adımlarından arta kalan diğer zaman adımında güncellenecektir. Uygun bir anda, bilgisayarda hesaplanabilir her bir evren isteğe göre sayıda zaman adımı kadar ileri doğru geliştirilmiş olacaktır.

12. Hesaplanabilir ve hesaplanamaz fonksiyonlar üzerine ayrıntılı bir tartışmanın *sınırda hesaplanabilir fonksiyonları* da kapsaması gerekir. Bu fonksiyonların, kendilerine gittikçe artan kesinlikte değerler bulan sonlu bir algoritması vardır. Örneğin, π'nin basamaklarının üretilmesi durumunda olduğu gibi: Hesaplamanın hiçbir zaman sonuna gelmese de bir bilgisayar π'nin her bir ardıl basamağını üretebilir. Bu nedenle, π kesinlikle hesaplanabilir değilken, sınırda hesaplanabilir durumdadır. Gerçek sayıların çoğu π gibi değildir. Ne hesaplanabilirlikleri ne de sınırda hesaplanabilirlikleri vardır.

"Başarılı" benzetimlerden söz ederken, sınırda hesaplanabilir fonksiyonları dikkate almalıyız. İlkesel olarak, aslına yakın bir gerçeklik, sınırda hesaplanabilir fonksiyonlara

değerler bulabilen bir bilgisayarın kısmi bir çıktısı olarak yaratılabilir.

Fizik yasalarının hesaplanabilir, hatta sınırda hesaplanabilir olmaları için gerçek sayılara olan geleneksel bağlılıktan kurtulmak gerekir. Bu, yalnızca, değerleri gerçek sayılara göre değişen koordinatlar kullanılarak tanımlanan uzay ve zaman için değil, yasaların kullandığı tüm matematiksel elemanlar için de gereklidir. Örneğin, bir elektromanyetik alan şiddeti gerçek sayılara bağlı olarak değişemez; yalnızca bir dizi ayrık değerler kümesine göre değişim göstermelidir. Aynı durum, bir elektronun şurada ya da burada olma olasılığı için de geçerlidir. Schmidhuber, şimdiye kadar tüm fizikçilerin yaptıkları hesaplamalarda ayrık sembollerin (kâğıda, tahtaya ya da bilgisayara yazılarak) kullanıldığını vurgulamıştır. Tüm bu bilimsel çalışmalar gerçek sayılarla yapılmış gözükse de uygulamada gerçek sayılarla yapılmamışlardır. Benzer bir durum şimdiye kadar ölçülen tüm nicelikler için de geçerlidir. Hiçbir gereç sonsuz biçimde doğruyu gösteremez; bu nedenle ölçüm sonuçlarımız ayrık sayısal değerleri çıktı olarak vermektedir. Bu bağlamda fiziğin şimdiye kadar elde etmiş olduğu tüm başarılar, aslında dijital bir paradigmanın kapsamında elde edilmiş başarılardır. Belki de o zaman, asıl yasalar da hesaplanabilir (ya da sınırda hesaplanabilir) olmaktadırlar.

"Dijital fizik" üzerine çok çeşitli bakış açıları bulunmaktadır. Örneğin, bkz. Stephen Wolfram, *A New Kind of Science* (Champaign, Ill.: Wolfram Media, 2002) ve Seth Lloyd, *Programming the Universe* (New York: Alfred A. Knopf, 2006). Matematikçi Roger Penrose'a göre, insan zihni hesaplanamayan süreçlere dayanmaktadır. Bu nedenle de yaşadığımız evrenin hesaplanamaz matematik fonksiyonlar barındırması gerekir. Bu bakış açısına göre, evrenimiz dijital paradigmayla ele alınamaz. Bu konuda örneğin, bkz. *The Emperor's New Mind* (New York: Oxford University Press, 1989) ve *Shadows of the Mind* (New York: Oxford University Press, 1994).

Bölüm XI: Sorgulamanın Sınırları

1. Steven Weinberg, *The First Three Minutes* (New York: Basic Books, 1973), s. 131.

Okuma Önerileri

Paralel evrenler konusu geniş bir yelpazedeki bilimsel materyallerden yararlanmayı gerektirir. Bu materyallerin çeşitli yönlerine odaklanan ve giderek genişleyen bu literatür ve çoğunlukla konunun uzman olmayan okurları hedeflemektedir ama bu konuda altyapısı olan okurlara da hitap etmektedir. Notlar bölümünde adı geçen kaynaklara ek olarak, okur, yazılmış muhteşem birçok kitabın bir kısmını aşağıda bulabilir ve *Saklı Gerçeklik*'te tartışılan konuları keşfetmeye devam edebilir.

Albert, David. *Quantum Mechanics and Experience*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1994.

Alexander, H. G. *The Leibniz-Clarke Correspondence*. Manchester: Manchester University Press, 1956.

Barrow, John. *Pi in the Sky*. Boston: Little, Brown, 1992.(*Gökteki Pi: Saymak, Düşünmek ve Olmak*. İstanbul: Beyaz, 2001.)

_____. *The World Within the World*. Oxford: Clarendon Press, 1988.

Barrow, John ve Frank Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press, 1986.

Bartusiak, Marcia. *The Day We Found the Universe*. New York: Vintage, 2010.

Bell, John. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*. Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1993.

Bronowski, Jacob. *The Ascent of Man*. Boston: Little, Brown, 1973. (*İnsanın Yükselişi: Türümüzün Biyolojik ve Kültürel Evrimine Renkli Bir Bakış*. İstanbul: Say, 2012.)

Byrne, Peter. *The Many Worlds of Hugh Everett III*. New York: Oxford University Press, 2010.

Callender, Craig ve Nick Huggett. *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale*. Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 2001.

Carroll, Sean. *From Eternity to Here*. New York: Dutton, 2010.

Clark, Ronald. *Einstein: The Life and Times*. New York: Avon, 1984.

Cole, K. C. *The Hole in the Universe*. New York: Harcourt, 2001.

Crease, Robert P. ve Charles C. Mann. *The Second Creation*. New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 1996.

Davies, Paul. *Cosmic Jackpot*. Boston: Houghton Mifflin, 2007.

Deutsch, David. *The Fabric of Reality*. New York: Allen Lane, 1997.

DeWitt, Bryce ve Neill Graham, (der.) *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press, 1973.

Einstein, Albert. *The Meaning of Relativity*. Princeton: Princeton University Press, 1988.

_____. *Relativity*. New York: Crown, 1961.

Ferris, Timothy. *Coming of Age in the Milky Way*. New York: Anchor, 1989.

_____. *The Whole Shebang*. New York: Simon & Schuster, 1997.

Feynman, Richard. *The Character of Physical Law*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1995. (*Fizik Yasaları Üzerine*. İstanbul: Alfa, 2012.)

_____. *QED*. Princeton: Princeton University Press, 1986.

Gamow, George. *Mr. Tompkins in Paperback*. Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1993.

Gleick, James. *Isaac Newton*. New York: Pantheon, 2003.

Gribbin, John. *In Search of the Multiverse*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2010. (*Çoklu Evrenler*. İstanbul: Alfa.)

_____. *Schrödinger's Kittens and the Search for Reality*. Boston: Little, Brown, 1995.

(*Schrödinger'in Yavru Kedileri: Gerçekliğin Peşinde*. İstanbul: Metis, 2008.)
Guth, Alan H. *The Inflationary Universe*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1997.
Hawking, Stephen. *A Brief History of Time*. New York: Bantam Books, 1988.
_____. *The Universe in a Nutshell*. New York: Bantam Books, 2001. (*Ceviz Kabuğundaki Evren*. İstanbul: Alfa, 2010.)
Isaacson, Walter. *Einstein*. New York: Simon & Schuster, 2007. (*Einstein*. İzmir: Delidolu, 2013.)
Kaku, Michio. *Parallel Worlds*. New York: Anchor, 2006.
Kirschner, Robert. *The Extravagant Universe*. Princeton: Princeton University Press, 2002.
Krauss, Lawrence. *Quintessence*. New York: Perseus, 2000.
Kurzweil, Ray. *The Age of Spiritual Machines*. New York: Viking, 1999.
_____. *The Singularity Is Near*. New York: Viking, 2005.
Lederman, Leon ve Christopher Hill. *Symmetry and the Beautiful Universe*. Amherst, N.Y.: Prometheus Books, 2004. (*Simetri ve Evrenin Görkemli Güzelliğini Anlamak*. İstanbul: Güncel, 2005.)
Livio, Mario. *The Accelerating Universe*. New York: Wiley, 2000.
Lloyd, Seth. *Programming the Universe*. New York: Knopf, 2006.
Moravec, Hans. *Robot*. New York: Oxford University Press, 1998.
Pais, Abraham. *Subtle Is the Lord*. Oxford: Oxford University Press, 1982.
Penrose, Roger. *The Emperor's New Mind*. New York: Oxford University Press, 1989. (*Kralın Yeni Usu*. Ankara: TÜBİTAK, 1997.)
_____. *Shadows of the Mind*. New York: Oxford University Press, 1994.
Randall, Lisa. *Warped Passages*. New York: Ecco, 2005.
Rees, Martin. *Before the Beginning*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1997.
_____. *Just Six Numbers*. New York: Basic Books, 2001.
Schrödinger, Erwin. *What Is Life?* Cambridge, Eng.: Canto, 2000. (*Yaşam Nedir*. İstanbul: Evrim, 1999)
Siegfried, Tom. *The Bit and the Pendulum*. New York: John Wiley & Sons, 2000.
Singh, Simon. *Big Bang*. New York: Fourth Estate, 2004. (*Big Bang'in Romanı: Büyük Patlama ve Evrenin Başlangıcı*. İstanbul: Özgür, 2010.)
Susskind, Leonard. *The Black Hole War*. New York: Little, Brown, 2008.
_____. *The Cosmic Landscape*. New York: Little, Brown, 2005.
Thorne, Kip. *Black Holes and Time Warps*. New York: W. W. Norton, 1994.
Tyson, Neil deGrasse. *Death by Black Hole*. New York: W. W. Norton,2007.
Vilenkin, Alexander. *Many Worlds in One*. New York: Hill and Wang, 2006.
von Weizsäcker, Carl Friedrich. *The Unity of Nature*. New York: Farrar, Straus and Giroux, 1980.
Weinberg, Steven. *Dreams of a Final Theory*. New York: Pantheon, 1992. (*Bir Ötesi Olmayan Kuram Düşleri*. İstanbul: Evrim, 2007)
_____. *The First Three Minutes*. New York: Basic Books, 1993. (*İlk Üç Dakika*. Ankara: TÜBİTAK, 1996)
Wheeler, John. *A Journey into Gravity and Spacetime*. New York: Scientific American Library, 1990.
Wilzcek, Frank. *The Lightness of Being*. New York: Basic Books, 2008.
Wilzczek, Frank ve Betsy Devine. *Longing for the Harmonies*. New York: W. W. Norton, 1988.
Yau, Shing-Tung ve Steve Nadis. *The Shape of Inner Space*. New York: Basic Books, 2010.

Dizin

İtalik sayfa numaraları şekilleri göstermektedir.

Bir zamanlar "evren" var olan her şey anlamına gelirdi. Her şey. İçinde akla gelebilecek her şeyin bulunduğu bir bütünlük. Oysa son yıllarda fizik ve kozmoloji alanlarındaki keşifler pek çok bilim insanını evrenimizin aslında çok sayıda evrenden sadece bir tanesi olduğu düşüncesine yöneltti. Bu kitapta Brian Greene çeşitli "çoklu evren" anlayışlarını ele alıyor: İçlerinden sadece bir tanesi yaşadığımız evren olan içi içe geçmiş evrenler denizinden oluşan bir çoklu evren; bizden sadece milimetrelerce uzaklıkta olduğu halde göremediğimiz bir çoklu evren; kuantum fiziğinin mümkün kıldığı her türlü olasılığın gerçekleştiği bir çoklu evren. Belki de hepsinden ilginç olanı, tamamen matematiksel işleyişe dayanan bir çoklu evren.

Brian Greene, bu kitapta gerçekliğin asıl doğasının paralel evrenlerde saklı olabileceğine dikkat çekiyor. Böylesine karmaşık bir konuyu son derece keyifli ve anlaşılır bir şekilde irdeleyerek şu temel soruyu da cevaplamaya çalışıyor: Eğer gerçekliğin büyük bölümü bildiklerimizin çok ötesinde özelliklere sahipse, temel bilimler nasıl ilerleyebilir?

Saklı Gerçeklik, fizikteki en yeni gelişmelerin geniş kapsamlı bir incelemesini sunuyor ve bizi gerçekliğin uzak sınırlarına doğru olağanüstü bir yolculuğa çıkarıyor, tamamen bilime dayanan ve yalnızca hayal gücümüzle sınırlanabilecek bir yolculuğa.





ISBN 978-975-403-780-7



Fiyatı: ₺16 (KDV dahil)

Basılı fiyatından farklı satılamaz